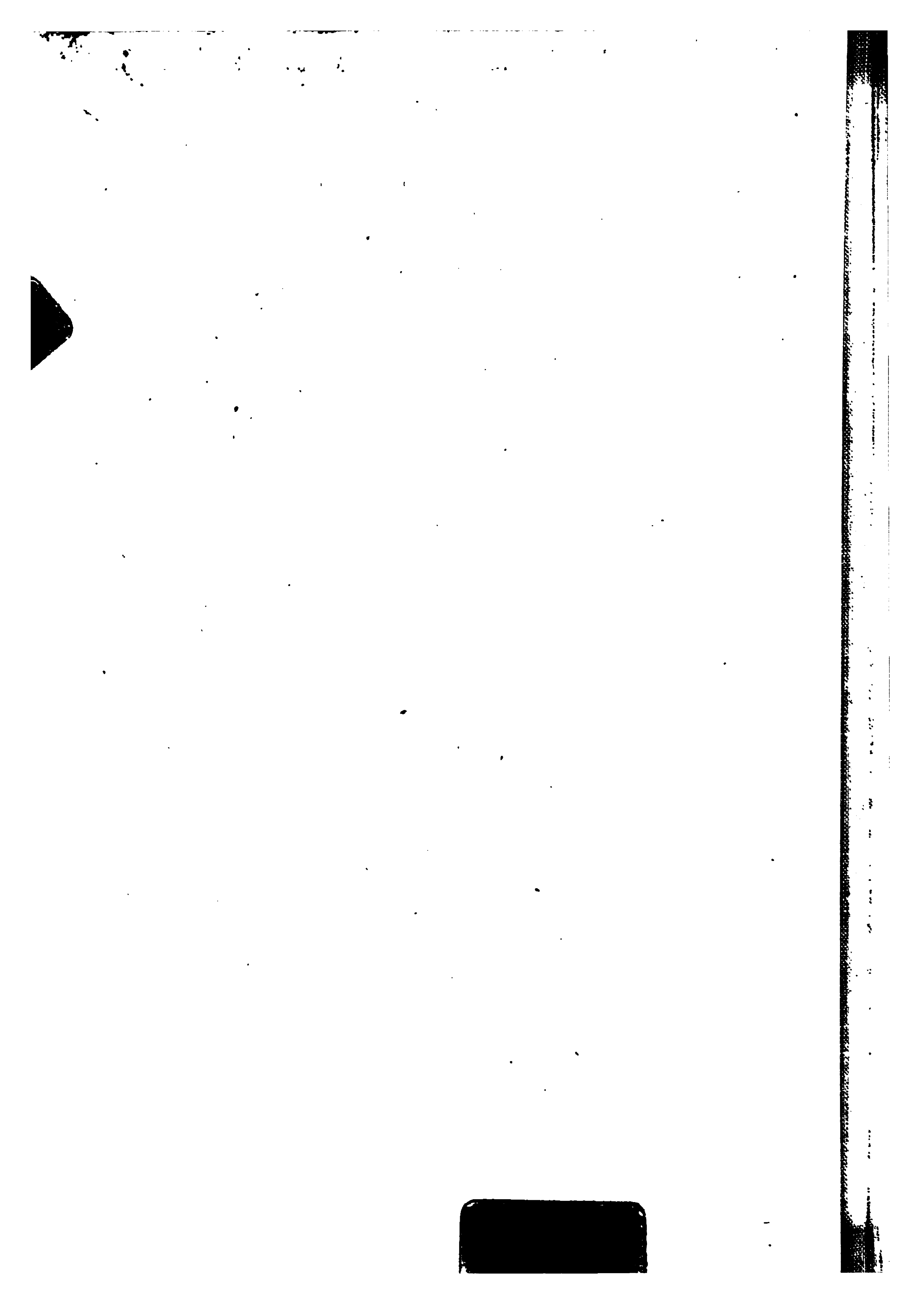
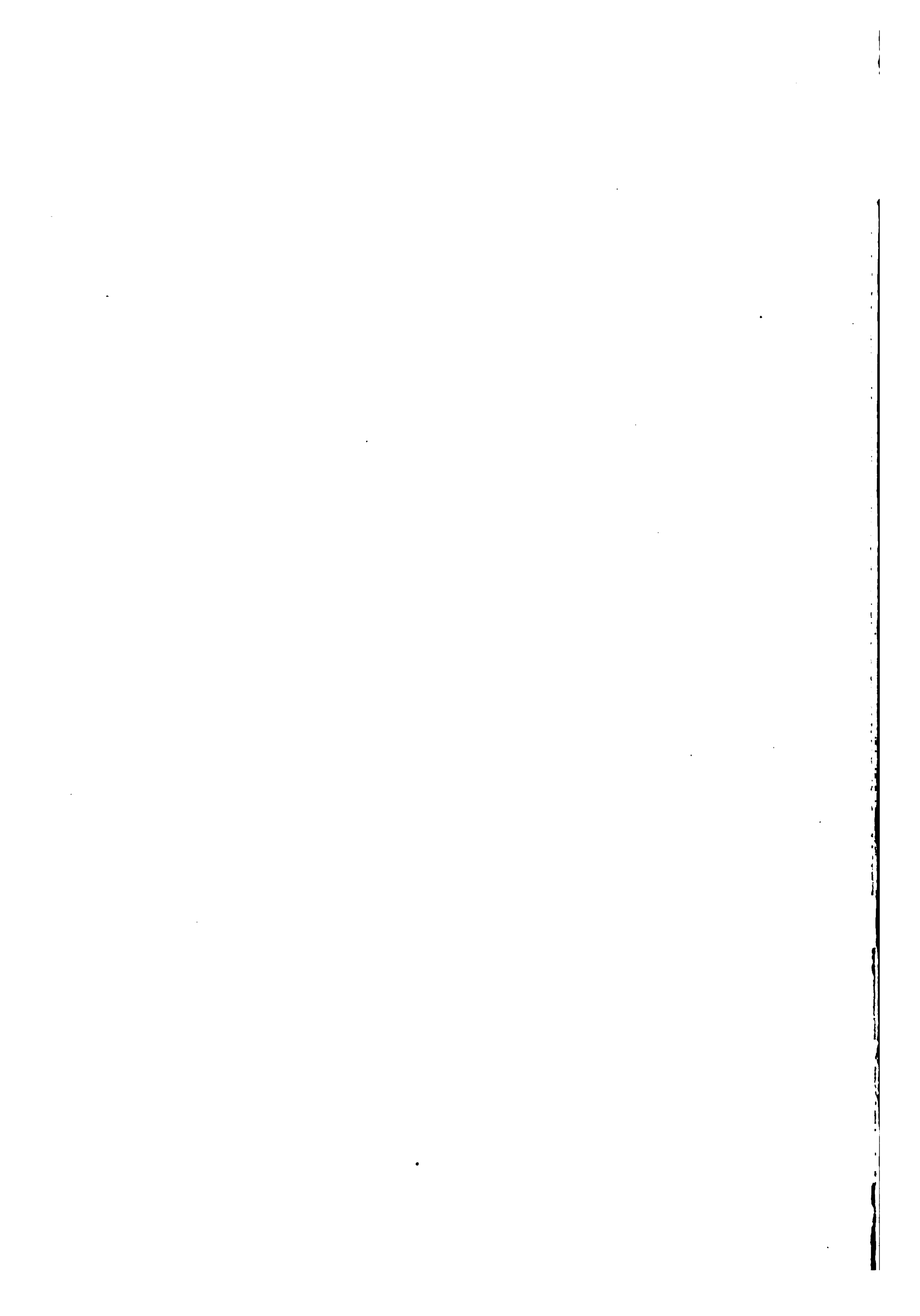
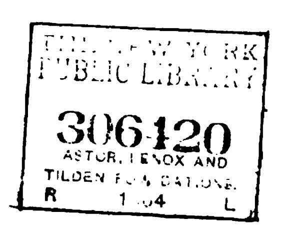





PUBLIC LIBRARY
306420
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R
L

Handbuch

der

Elektrotechnik

bearbeitet von

Professor Dr. **H. Ebert,** München. — Ingenieur **H. Eisler,** Wien. — Betriebsingenieur Dr. **B. Gleichmann,** München. — Professor Dr. **C. Heinke,** München. — Direktor **R. O. Heinrich,** Berlin. — Chefingenieur **J. Heubach,** Niedersedlitz. — Ober-Postinspektor **O. Jentsch,** Berlin. — Professor Dr. **J. Kollert,** Chemnitz. — Professor Dr. **F. Niethammer,** Brünn. — Vorsteher des Telegraphen-Betriebsbureaus des Reichs-Postamts **J. Noebels,** Berlin. — Direktor **Karl Pichelmayer,** Berlin. — Oberingenieur **H. Pohl,** Berlin. — Ingenieur **F. Ross,** Wien. — Postdirektor **A. Schluckebier,** Berlin. — Ingenieur **E. Schulz,** München. — Direktor Dr. **E. Sieg,** Kalk bei Cöln. — Ingenieur **B. Soschinski,** Berlin. — Direktor **K. Wilkens,** Berlin. — Physiker **R. Ziegenberg,** Berlin

herausgegeben von

Dr. C. Heinke

Professor der Elektrotechnik an der technischen Hochschule in München.

Sechster Band:

Die Leitungen, Schalt- und Sicherheitsapparate
für
elektrische Starkstromanlagen

von

H. Pohl und **B. Soschinski.**

Erste Abteilung.

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1904.

Die Leitungen,

Schalt- und Sicherheitsapparate

für

elektrische Starkstromanlagen

von

H. Pohl, und **B. Soschinski,**
Oberingenieur. Ingenieur.

Erste Abteilung.

Leiter und Isoliermittel. — Fabrikation der Leitungen. — Schalter. Sicherungen. — Schutzvorrichtungen gegen Überspannungen und atmosphärische Entladungen.

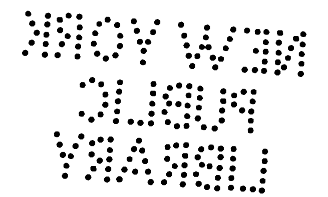
Bearbeitet

von

H. Pohl,
Oberingenieur.

Mit 395 Abbildungen.

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1904.



Druck von Fischer & Wittig in Leipzig.



Erste Abteilung.

Leiter und Isoliermittel. — Die Fabrikation der Leitungen. — Schalter. — Sicherungen. Schutzvorrichtungen gegen Überspannungen und atmosphärische Entladungen.

Vorwort.

Die elektrische Starkstromtechnik ist noch jung; kaum war jedoch ihr Wert erkannt, als sie auch bereits einen Aufschwung nahm, der sie zu dem machte, was sie heut ist, eine der bedeutendsten Industrieen. Dementsprechend ist auch ein grosser Teil des in diesem Buche behandelten Materials noch nicht ganz ausgebildet, und weist zum Teil noch Mängel auf, die bei dem weiteren Ausbau der Elektrotechnik sicher verschwinden werden.

Die mannigfaltigen Zubehörteile zu elektrischen Anlagen, wie Schalter, Sicherungen und dergleichen, waren zwar bei den frühesten Anlagen schon vorhanden, indessen in einer Form, die von der heute üblichen naturgemäss sehr weit abweicht. Im allgemeinen wurden auch viele Apparate für überflüssig gehalten und daher nicht verwendet.

Den Anforderungen, welche an derartige Apparate ursprünglich gestellt wurden, war infolge der niedrigen Spannung, der einfachen Stromverteilung etc. sowohl vom physikalischen als auch vom konstruktiven Standpunkt aus, auch mit den einfachsten Mitteln zu genügen.

Erst der Aufschwung der Elektrotechnik, die immer mehr zunehmende Ausdehnung der Elektrizitätswerke und des von ihnen zu versorgenden Gebietes und die dadurch bedingte Erhöhung der Spannung, machte die Konstruktion besserer Schalt- und Sicherheitsapparate zur zwingenden Notwendigkeit. Das dringende Bedürfnis wird am ehesten daran erkannt, dass der Verband Deutscher Elektrotechniker im Jahre 1896 Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen herausgab, die für die weitere Entwickelung gerade der Schalt- und Sicherheitsapparate von ausschlaggebender Bedeutung waren.

Vielseitig, wie die Anwendung der Elektrizität, sind auch diese Apparate und in ausserordentlich zahlreichen Konstruktionen auf dem Markte.

In die Zeit der Bearbeitung dieses Bandes fällt der Zusammenschluss der grossen Elektrizitätsfirmen zwecks besserer Ausnützung ihrer Kräfte und Erfahrungen. Infolgedessen wird in Zukunft die Verschiedenheit der

Konstruktionen bis zu einer gewissen Grenze aufhören, und es werden Apparate entstehen, welche die Vorzüge der mannigfaltigen Ausführungsformen in sich vereinigen. Zur Zeit sind aber noch die meisten Sonderkonstruktionen im Handel und sind, des geschichtlichen Interesses wegen, im vorliegenden Band noch mit den Namen derjenigen Firmen, welche sie fertigten, bezeichnet, wenn auch einzelne derselben bereits aufgehört haben, ihre Starkstromartikel selbständig zu vertreiben.

Die Leitungen und Kabel weisen heutigen Tages bei weitem nicht die Verschiedenartigkeit auf, welche bei den Schalt- und Sicherheitsapparaten beobachtet werden kann. Es ist dies in erster Linie ebenfalls auf die Thätigkeit des Verbandes Deutscher Elektrotechniker zurückzuführen, der in einmütiger Arbeit mit den Deutschen Kabelwerken und der Vereinigung der Elektrizitätswerke Normalien für Leitungen und Kabel herausgegeben hat, soweit überhaupt normalisiert werden kann. Dieselben finden bei der vorliegenden Arbeit ausgedehnte Berücksichtigung und sind, soweit erforderlich, im Wortlaut wiedergegeben, wozu der Verband Deutscher Elektrotechniker in dankenswertem Entgegenkommen seine Einwilligung gegeben hat.

Der Umfang der Arbeit ist, der Fülle des zu bearbeitenden Materials entsprechend, über den beabsichtigten Rahmen hinausgegangen, sodass auch Band VI geteilt werden musste. Im ersten Teil haben in erster Linie die Leitungen und die zur Schaltung und Sicherung elektrischer Anlagen erforderlichen Apparate Berücksichtigung gefunden, während der zweiten Abteilung die Schaltanlagen, Verlegung der Leitungeu, Installationen, persönliche und Feuersicherheit elektrischer Anlagen, und der dritten die Berechnung der Leitungen etc. vorbehalten bleibt.

Verfasser war bestrebt, hauptsächlich praktische Gesichtspunkte zur Geltung zu bringen, was aber naturgemäss in der zweiten Abteilung dieses Bandes noch mehr hervortreten dürfte als bei dem vorliegenden ersten Teil.

Bei meiner Arbeit bin ich in der liebenswürdigsten Weise von den verschiedensten elektrotechnischen Firmen des In- und Auslandes durch Überlassung ihrer Druckschriften, Zeichnungen, Klischees und durch Mitteilung ihrer praktischen Erfahrungen unterstützt worden, wofür ich auch an dieser Stelle verbindlichen Dank sage.

H. Pohl.

Inhaltsverzeichnis.

Der Leiter.

Allgemeines.

Die Isoliermittel für Leitungen und Apparate.

Allgemeines.

Die Erwärmung elektrischer Leitungen.

Die Widerstandsfähigkeit der Isoliermittel gegen Durchschlagen.

Dielektrische Hysteresis.

Die Isoliermaterialien für Leitungen.

Guttapercha.

Kautschuk.

Fabrikation elektrischer Leitungen und Kabel.

Allgemeines.

Die Herstellung des Leitungsdrahtes.

Die Verseilung.

Die Isolierung des Leiters.

Trocknung und Imprägnierung der Faserstoffe.

Die Imprägnierung.

Kabelmaschinen.

Die Bleipresse.

Der Bleimantel.

Die Panzerung.

Gummi- und Guttaperchakabel.

Gummikabel.

Die Isolierung durch wasserdichte Gummiumhüllung.

Die Fabrikation umsponnener und umklöppelter Leitungen.

Die Umklöppelung.

Das Verseilen von fertigen Leitern.

Die Messungen am Kabel während und nach der Fabrikation.

Leitungsfähigkeit und Widerstand.

Isolation und Isolationsmessung.

Kapazität und Kapazitätsmessungen.

Die Spannungsprüfung.

Instrumentarien zu Kabelmessungen.

Transportable Messeinrichtungen.

Tragbare Kabelmessschaltung von Siemens & Halske A.-G.

Kabelmesswagen von Hartmann & Braun A.-G.

Marktgängige Leitungen und Kabel und deren Verwendung.

Blanke Leitungen.

Die umsponnenen Leitungen.

Gummibandleitungen.

Gummiaderleitungen.

Lieferungsbedingungen.

Wahl der Kabel für verschiedene Zwecke.

Schalter.

Allgemeines.

Kontaktformen und Dimensionen der Kontakte.

Anordnung der Schalter.

Installationsschalter.

Prüfung der Installationsschalter.

Spezialkonstruktionen.

Steckkontakte.

Prüfung der Steckkontakte.

Kleinere Anschlussdosen.

Anschlussdosen für Kraftübertragung.

Allgemeine Anordnung der Schalter und Anschlussdosen.

Befestigung und Schaltung der Schalter und Anschlussdosen.

Hebelschalter.

Schalter zum langsamen Öffnen eines Stromkreises.

Hochspannungsschalter.

1. Schalter mit grosser Schaltöffnung.

2. Schalter, bei denen der Unterbrechungsfunke in engen Röhren auftritt.

3. Schalter, bei denen auf elektrodynamischem Wege der Lichtbogen zerrisssen wird.

4. Ölschalter.

5. Hochspannungsschalter, bei denen der Lichtbogen durch Pressluft ausgeblasen wird.

Trennschalter.

Automatische Schalter.

Maximal- und Minimalautomaten.

Rückstromausschalter.

Apparat zum selbstthätigen Ausschalten bei Spannungsrückgang.

Fernschalter.

Selbstthätiger Umschalter für Messinstrumente.

Zellenschalter.

Selbstthätige Antriebsvorrichtungen für Zellenschalter.

Sicherungen.

Schmelzeinsätze.

2. Die Edison-Sicherungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

3. Normal-Edison-Sicherung (Mix & Genest).

4. Sicherungssystem der E. A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg.

Sicherungen in Anschlussdosen.

Die Sicherungen für starke Ströme.

Hochspannungssicherungen.

Schutzvorrichtungen gegen Überspannungen und atmosphärische Entladungen.

Die Entladungen und ihre Ursachen.

Die Schutzvorrichtungen.

Druckfehler-Berichtigungen.

Seite 56 Zeile 6 von unten lies Reduktion statt Reaktion.
„ 65 „ 22 von oben lies mm statt cm.
„ 182 Marg. 245 lies Einphasenkabel statt Eisenphasenkabel.

Benutzte Literatur.

Archiv für Post und Telegraphie, Berlin.
Dinglers polytechnisches Journal, Berlin.
Electrical Review, London.
Electrical Review, New York.
Electrical World and Engineer, New York.
Elektrotechnischer Anzeiger, Berlin.
Elektrotechnischer Neuigkeitsanzeiger, Wien.
Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
Fortschritte der Elektrotechnik, Berlin.
L'industrie électrique, Paris.
La lumière électrique, Paris.
Poggendorfs Annalen, Leipzig.
Physical Review, London.
Physikalische Zeitschrift, Leipzig.
Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften.
The Electrical Engineer, New York.
The Electrician, London.
The Journal of Electricity, S. Francisco.
Western Electrical, Chicago.
Wiedemanns Annalen, Leipzig.
Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien.

Baur, Das elektrische Kabel, Berlin.
Benischke, Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik, Braunschweig.
Clouth, Gummi, Guttapercha und Balata, Leipzig.
Ellison, Handbuch der Baumwollkultur und Industrie. Deutsch von Noest. 5. Ausg., Norden.
Erhard, Der elektrische Betrieb im Bergbau, Halle.
Erlacher, Georg J., Elektrische Apparate, Hannover.

Grawinkel und Strecker, Hilfsbuch für die Elektrotechnik, Berlin.
Heim, Elektrische Beleuchtungsanlagen, Leipzig.
Heinzerling, Fabrikation der Kautschuk- und Guttaperchawaren, Braunschweig.
Herzog und Feldmann, Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze, Berlin.
Herzog und Feldmann, Elektrische Beleuchtung, Berlin.
Hochenegg, Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen, Berlin.
Hoffa, Kautschuk und Guttapercha, Wien.
Jeep, Der Asphalt, Weimar.
Kuhn, Die Baumwolle, ihre Kultur, Struktur und Verbreitung. Wien.
Langer, Der Flachsbau, Wien.
Muspratt, Technische Chemie, Braunschweig.
Neesen, Die Sicherungen von Schwach- und Starkstromanlagen gegen die Gefahren der atmosphärischen Elektrizität, Braunschweig.
Obach, Cantor lectures on Guttapercha, London.
Peschel, Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen, Leipzig.
Pfuhl, Die Jute und ihre Verarbeitung, Berlin.
Pohl, Montage elektrischer Anlagen, Hannover.
Prasch und Wietz, Die elektrotechnischen Masse, Leipzig.
Scheithauer, Die Fabrikation der Mineralöle und des Paraffins, Braunschweig.
Schmoller und Hintze, Die deutsche Seidenindustrie, Berlin.
Sonntag, Katechismus des Flachsbaues, Leipzig.
Uppenborn, Kalender für Elektrotechnik, München.
Amerikanische Patentschriften.
Deutsche Patentschriften.
Englische Patentschriften.
Verband Deutscher Elektrotechniker,
Normalien, Berlin.
Sicherheitsvorschriften für den Bau elektrischer Starkstromanlagen, Berlin.
Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen, Berlin.
Weber, C. L., Erläuterungen zu den Sicherheitsvorschriften, Berlin.
Wietz, Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte, Leipzig.
Winkelmann, Die Terpentin- und Fichtenharzindustrie, Berlin.

Der Leiter.

Allgemeines.

1. Leiter und Nichtleiter.

Für die Fortleitung der elektrischen Energie ist die grundlegende Bedingung stets die, dass sie der Verwendungsstelle zugeführt wird, ohne auf ihrem Wege dahin solche Verluste zu erleiden, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlage in Frage stellen würden.

Die Möglichkeit, dies zu erreichen, liegt zum grossen Teil in der geeigneten Wahl des Leitungsmaterials und seines Querschnittes, dann aber auch in der Art der Isolierung des zur Stromleitung verwendeten Materials.

Zur Stromleitung werden ausschliesslich Metalle verwendet, die als Leiter bezeichnet werden, während diejenigen Körper, welche dem Strom grösseren Widerstand entgegensetzen, Nichtleiter sind, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass auch der schlechteste Nichtleiter den Strom, wenn auch in mehr oder weniger geringem Masse, weiter zu leiten vermag.

Die nachstehende, dem Hilfsbuch von GRAWINKEL & STRECKER entnommene Reihe giebt eine Stufenfolge vom besten zum schlechtesten Leiter:

Metalle
Kohle, Graphit
Säuren, Salzlösungen, Wasser in natürlichem Vorkommen, Schnee
Lebende Pflanzen und Tiere
Lösliche Salze
Leinen und Baumwolle
Alkohol, Äther
Glaspulver, Schwefelblumen
Marmor
Trockenes Holz, Papier, Stroh
Eis bei 0^0
Trockene Metalloxyde
Fette, Öle
Asche
Eis bei -25^0
Phosphor
Kalk, Kreide
Bärlappsamen
Kautschuk
Kampfer
Ätherische Öle
Porzellan
Getrocknete Vegetabilien, Leder, Pergament, trockenes Papier, Federn, Haare, Wolle, Seide
Edelsteine, Glimmer, Glas, Agat
Wachs, Schwefel, Harze, Bernstein, Schellack
Trockene Luft.

Das Leitungsmaterial lässt eine grosse Auswahl nicht zu. Abgesehen von wenigen Ausnahmen findet Kupfer fast ausschliesslich Verwendung.

Ebenso fest liegt die Dimensionierung der Leiter, da der Querschnitt unter Berücksichtigung der zu übertragenden Stromstärke und des zulässigen Spannungsverlustes berechnet werden muss.

2. Isolierung der Leiter.

Einen weiten Spielraum gewährt dagegen die Isolierung der Leiter, sei es, dass oberirdisch geführte Leitungen durch die Art ihrer Verlegung auf Isolierkörpern vor der Berührung mit fremden leitenden Körpern geschützt werden, oder dass die Leiter mit schlecht leitenden Stoffen derart umgeben werden, dass sie vermöge ihrer hierdurch erreichten Isolierfähigkeit direkt ins Erdreich, in Meere oder Flüsse gebettet werden können. In dem einen Falle wird die Isolierung also durch die Art der Verlegung erreicht, wobei nur Stützpunkte von genügender Isolierfähigkeit zu schaffen sind, während im übrigen die Luft als Isolator dient. Im anderen Falle wird die Fähigkeit des Leiters, den Strom möglichst ungeschwächt seiner Verwendungsstelle zuzuführen, durch die Konstruktion und Art seiner Isolierhülle bedingt, deren Beschaffenheit wesentlich von der in Frage kommenden Spannung, aber auch von der Art der Verwendung und der Örtlichkeit, wo der Leiter verlegt werden soll, abhängig ist.

3. Der blanke Leiter.

Blanke Leiter können nur da verwendet werden, wo eine Berührung derselben und die hierdurch bedingte Gefährdung von Personen ausgeschlossen ist, während in allen anderen Fällen isolierte Leiter Verwendung finden müssen. In besonderen Fällen, auf die später noch ausführlich eingegangen werden wird, kann von dieser Regel abgewichen werden, und zwar einmal, wenn die Verwendungsstelle nur geschultem Personal zugänglich ist, zweitens, wenn sich am Orte der Verlegung chemische Einflüsse geltend machen, welche die zur Isolierung verwendeten Stoffe angreifen und zerstören, so dass der durch die Isolierung angestrebte Schutz nicht erreicht wird.

Material und Form des Leiters.

4. Material des Leiters.

Als Leitungsmaterial für elektrische Anlagen kommen im wesentlichen nur Kupfer, Eisen und Aluminium in Betracht, und zwar die letzteren beiden auch nur als blanke Leitungen, da entsprechend der geringeren Leitfähigkeit dieser Metalle grössere Querschnitte wie bei der Verwendung von Kupfer gewählt werden müssen und hierdurch ein erheblicher Mehraufwand von Isoliermaterialien erforderlich wird. Die wichtigsten Daten können der folgenden Tabelle No. 1 entnommen werden.

Die anderen Metalle finden aber ebenfalls ausgedehnte Verwendung in der Elektrotechnik.

Diejenigen, welche eine geringere Leitfähigkeit als die oben genannten besitzen, dienen als stromführendes Material an Widerständen, während andere, z. B. Messing, Nickel u. s. w., als Kontakte und beim konstruktiven Aufbau von Apparaten wertvolle Dienste leisten.

Im übrigen sind die elektrischen und mechanischen Daten der in der Elektrotechnik verwendeten Metalle aus der nebenstehenden Tabelle ersichtlich.

5. Form der Leiter.

Die Form des Leiters wird dem Verwendungszweck angepasst. Breite, flache Bänder von grosser Wärmeableitungsfähigkeit werden für Widerstände verwendet; flache Schienen von rechteckigem Querschnitt, meistens aus Kupfer oder Messing, finden für die Fortleitung starker Ströme in den Zentralen Verwendung. Im allgemeinen wird aber sonst hauptsächlich bei isolierten Leitungen vom runden Querschnitt selten abgewichen, mit Aus-

Tabelle No. 1.

Material	Spez. Gew.	Bruchbelastung Zug kg/mm²	Elastizitätsgrenze Zug kg/mm²	Leitfähigkeit *) ¹)	Spez. Widerstand *)	Widerstandszunahme in % pro 1° C. *)	*) Beobachter der in den letzten drei Spalten angegebenen Werte
Aluminium geglüht				34·9	0·0287	0·388	Matthiessen
„ rein	2·58	20	10—12 ²)	35·1	0·0285		Northrup
„ „				35·9	0·0279		C. T. Child
99·6% Al. 0·3% Cu		23		34·2	0·0293		Perrine & Baum
0·5% Cu				33·15	0·0301		Northrup
0·75% Cu				32·13	0·0312		Northrup
99% Al.		22·6					Kershaw
1% Fe		26·7					Kershaw
Al. mit Cu		45		28·5	0·0351		Pittsburg Reductions Co.
99·25 Al., 0·31 Fe 0·14 Si	2·715			36·2	0·0276		E. Wilson
Aluminium gegossen	2·64						Alum. Ind. A.-G. Neuhausen
„ gewalzt	2·70	27		33·7	0·0297		Alum. Ind. A.-G. Neuhausen
Blei gepresst	11·3	1·3	1	4·82	0·2076	0·387	Matthiessen
Eisen rein	7·88			9·59	0·1042	0·48	Matthiessen
Eisendraht schwed.				10·2	0·0982	0·48	Preece
„ gewöhnlich			22—28	7·58	0·1324	0·48	
Gold geglüht				46·3	0·0216	0·365	Matthiessen
„ hart	19·3	27	13	45·5	0·0220	0·365	Matthiessen
Graphit	1·9–2·3					0·0009	
Kruppin				1·18	0·8483	0·07	Phys.-Tech. Reichsanstalt
Kupfer rein	8·9	40	12	61·2	0·01635	0·445	Lagarde
„ käuflich				57·5	0·01740	0·38	Siemens & Halske
Messingdraht	8·74	36	13	14·2	0·0707	0·165	Schuckert & Co.
Nickel geglüht	8·9—9·2			7·66	0·1306	0·365	
Nickelin Geitner				2·2—1·8	0·45—0·56	0·028—0·019	
Platin geglüht	21·4	34	27	10·7	0·0937	0·243	Matthiessen
Quecksilber	13·6			1·063	0·942	0·0907	„
Silber geglüht	10·5			63	0·0159	0·377	
Silber hart		29	11	58·2	0·0172	0·377	„
Stahldraht hart	7·86				0·1843		„
Wismut	9·8			0·72	1·39	0·354	„
Zink gepresst	7·13—7·2	5·3	2·3	17·0	0·059	0·365	
Zinn	7·2		4·4	7·05	0·142	0·365	

nahme gewisser Fälle, wo eine bessere Raumausnützung durch Formen ermöglicht wird, die vom runden Querschnitt mehr oder weniger abweichen. Der Hauptgrund für die Verwendung des runden Querschnittes liegt darin, dass derselbe bei Einzelleitungen stets die beste Raumausnützung ergiebt, und infolge des kleinsten möglichen Umfanges auch den geringsten Verbrauch an Isoliermaterialien gestattet.

Sehr wesentliche Fabrikationsrücksichten sind ein weiterer Grund für seine Verwendung. Die Verwendung massiver runder Leiter ist aber für die

1) ca. 300 Litteraturangaben über die elektrische Leitungsfähigkeit sind enthalten in: Phys.-chemische Tabellen von LANDOLT und BÖRNSTEIN. Berlin 1894, S. 515 ff.

2) Vgl. Hdb. VI, 1 S. 18.

meisten Fälle unbequem, wenn nicht ganz unmöglich; grössere Querschnitte werden daher dadurch hergestellt, dass mehrere Leiter geringeren miteinander zu einem solchen grösseren Querschnittes vereinigt werden.

6. Verseilte Drähte. Eine aus mehreren Drähten bestehende Leitung wird „Litze" genannt, die wiederum miteinander verseilt „Seile" ergeben.

Man unterscheidet bei der Herstellung der Seile:

1. einfache Verseilung, bei welcher mehrere Drahtschichten konzentrisch übereinander gelagert sind;
2. kombinierte Verseilung, bei welcher bereits verseilte Drähte, Litzen, mit weiteren verseilt werden.

Die Litze kann in 4 Grundformen durch die Verseilung von 3, 4, 5, 7 Drähten hergestellt werden, deren Anordnung Fig. 1 zeigt.[1])

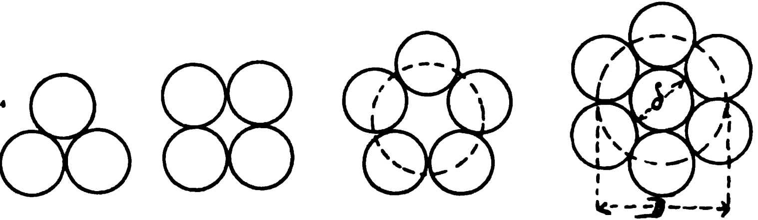


Fig. 1.

Um den Querschnitt zu vergrössern, können um die Grundform noch weitere Drahtlagen gelegt werden (Fig. 2) und ist, wenn D den Durchmesser des Kreises, welcher durch die Mittelpunkte der Grundformkreise gezogen

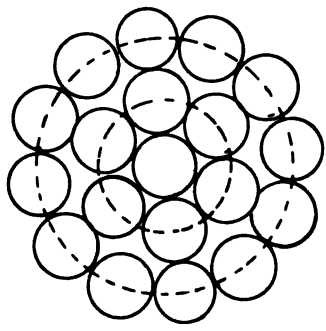


Fig. 2.

ist, und δ den Durchmesser jeden Drahtes bezeichnet, der Durchmesser der Mittelpunkte der folgenden Drahtlage, gleichen Durchmesser aller Einzeldrähte vorausgesetzt

$$D + 4\,\frac{\delta}{2} = D + 2\,\delta.$$

Der Umfang beträgt dann

$$\pi\,(D + 2\,\delta) = \pi\,D + 6{,}28\,\delta \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (1)$$

1) Über die Form des Leiters bei elektrischen Kabeln vgl. DEHMS ETZ 1888, S. 208.

Da dies auch für jede weitere Lage gilt, — es wird dann mit D nur der Durchmesser des durch die Mittelpunkte der folgenden Drahtlage gehenden Kreises bezeichnet, — so ist ersichtlich, dass für jede derselben der Umfang des durch die Mittelpunkte dieser Lage gelegten Kreises um etwa 6 δ grösser wird als der der vorhergehenden.

Infolgedessen werden auch in jeder weiteren Lage, ganz gleichgültig, welche Grundform gewählt wurde, sechs Drähte mehr untergebracht werden können,[1]) als in der vorhergehenden.

Hierdurch ergiebt sich dann bei entsprechender Berücksichtigung der Grundform die Anzahl der in einer Litze untergebrachten Drähte, die der folgenden Tabelle entnommen werden kann.

Tabelle No. 2.

	Anzahl der Drähte bei der Grundform									
	1 Draht		3 Drähte		4 Drähte		5 Drähte		7 Drähte	
	in der nten Lage	insgesamt	in der nten Lage	insgesamt	in der nten Lage	insgesamt	in der nten Lage	insgesamt	in der nten Lage	insgesamt
Grundform als 1. Lage	1	—	3	—	4	—	5	—	7	—
2. Lage	6	7	9	12	10	14	11	16	13	20
3. „	12	19	15	27	16	30	17	33	19	39
4. „	18	37	21	48	22	52	23	56	25	64
5. „	24	61	27	75	28	80	29	85	31	95
6. „	30	91	33	108	34	114	35	120	37	132
7. „	36	127	39	147	40	154	41	161	43	175
8. „	42	169	45	192	46	200	47	208	49	224

Die einfache Verseilung kann ohne oder mit Seele erfolgen; im letzteren Falle werden die Drähte um einen durchlaufenden geraden Draht gelegt. Die in der Tabelle 2 angegebenen ersten vier Grundformen sind ohne, die fünfte mit Seele ausgeführt. In vielen Fällen wird diese aber gar nicht mehr als Grundform betrachtet, da sie ja schon aus einer anderen entstanden ist.

7. Kombinierte Verseilung.

Für die kombinierte Verseilung werden mehrere Litzen verseilt, und zwar werden hierzu meistens Litzen mit Seele verwendet, um eine möglichst grosse Raumausnützung zu erreichen. Die Art dieser Verseilung ist die gleiche, als wenn einzelne Drähte miteinander verseilt werden, und zwar werden die gleichen Grundformen angewendet. Es ist nicht angebracht, die einzelnen, zu einer Litze zu vereinigenden Drähte stärker als 4·5 mm ∅ zu wählen. Je dünner man die einzelnen Drähte wählt, desto günstiger ist die Querschnittsausnützung der Litze und desto biegsamer wird der Leiter.

---

1) Vgl. ferner: Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte von H. Wietz (Leipzig, Leiner 1897); ETZ 1902, S. 673.

Raumausnützung.

8. Massive Leiter.

Um aber so ökonomisch wie möglich zu verfahren, ist nicht nur die Wahl eines Metalls geboten, welches bei einigermassen niedrigem Preise eine möglichst hohe Leitungsfähigkeit besitzt, sondern dieses muss auch so angeordnet werden, dass eine möglichst grosse Raumausnützung stattfindet.

Die günstigste Raumausnützung giebt naturgemäss der massive Leiter, dessen Verwendung jedoch nicht immer möglich ist, da für die meisten Zwecke eine gewisse Beweglichkeit unerlässlich ist. Beim Bau von Zentralen und für Bahnzwecke finden runde oder rechteckige Schienen bis zu 500 und 1000 mm^2 Verwendung, während für Installationsleitungen, überhaupt alle isolierten Leitungen, nur sehr niedrige Querschnitte massiv gewählt werden. In der Regel sind 16 mm^2 die Grenze, 25 mm^2 werden fast nie überschritten. Die höheren Querschnitte werden durch Verseilen von Drähten geringeren Querschnittes hergestellt.

Um dem häufig auftretenden Bedürfnis an beweglichen Leitungen geringeren Querschnittes zu genügen, werden aber auch solche unter 16 mm^2 häufig aus mehreren Drähten angefertigt.

9. Raumausnützung bei einfacher und kombinierter Verseilung.

Die erreichbare Raumausnützung ist bei Litzen naturgemäss grösser als bei Seilen; während bei den ersteren 70 bis 75 % erreichbar sind, muss bei der kombinierten Verseilung, kurz bei Seilen, eine geringere Raumausnützung als Grenze angesehen werden, und zwar ergiebt sich dieselbe nach den folgenden Formeln,[1]) wenn bedeuten:

η = Raumausnützung

Q_e = effektiver Materialquerschnitt

Q_a = äusserer Raumquerschnitt

z = Gesamtzahl der Drähte einer Litze

n = Anzahl der Lagen der einzelnen Drähte (bei Litzen mit Seele einschl. dieser)

Z = Anzahl der Litzen bei kombinierter Verseilung

N = Anzahl der Lagen der Seile.

A. Einfache Verseilung.

Die Grundform besteht:

aus einem Draht

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} = \frac{z}{(2n-1)^2}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

aus drei Drähten

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} = \frac{z}{4\,(0{\cdot}08+n)^2}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

aus vier Drähten

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} = \frac{z}{4\,(0{\cdot}2+n)^2}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

---

1) ETZ 1902, Heft 31.

aus fünf Drähten

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} = \frac{z}{(0{\cdot}705 + 2n)^2}; \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

aus sieben Drähten einschl. Seele

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} = \frac{z}{(2n - 1)^2}; \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

B. Kombinierte Verseilung.

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a} \, \frac{z\,Z}{[(n-1)\sqrt{3} + 1]^2 \, [2N - 1]^2} \quad \ldots \ldots \quad (7)$$

10. Anzahl der Drähte.

Die Anzahl der Drähte berechnet sich, soweit sie nicht aus den Tabellen auf Seite 12 und 13 entnommen werden kann, wie folgt:

Tabelle No. 3.

Grundform		Anzahl der Drähte im Seil
ein Draht . . .	○	$z = 3n\,(n-1) + 1$ . . . . (8)
drei Drähte . . .		$z = 3n^2$ . . . . (9)
vier Drähte . . .		$z = n\,(3n + 1)$ . . . . . . (10)
fünf Drähte . . .		$z = n\,(3n + 2)$ . . . . . . (11)

11. Raumausnützung in Prozenten.

Wir sind nunmehr in der Lage, die Raumausnützung zu bestimmen und finden die in der folgenden Tabelle niedergelegten Werte in Prozenten bei rundem Querschnitt der Leiter.

Tabelle No. 4.

Art der Grundform	Raumausnützung bei einfacher Verseilung in Prozenten			
	○			
Grundform als 1. Lage	100	64	69	69
2. Lage	78	69	72	73
3. „	76	71	73	74
4. „	75	72	74	74
5. „	75	73	74	74
6. „	75	73	74	74
7. „	75	73·5	74	74·5
8. „	75	73·5	74	74·5

Hieraus ist ersichtlich, dass die erste Form die günstigsten Werte ergiebt.

Tabelle No. 5.

Raumausnützung bei kombinierten Seilen in Prozenten

	Litzenlagen N	1	2	3	4	5
	Anzahl der Litzen in jeder Lage	1	6	12	18	24
	Gesamtzahl der Litzen Z	1	7	19	37	61
$n = 2$ $z = 7$	Gesamtzahl der Drähte $z. Z$	7	49	133	259	427
	Raumausnützung	—	73	71·3	70·8	70·6
$n = 3$ $z = 19$	Gesamtzahl der Drähte $Z. z$	19	133	361	703	1159
	Raumausnützung	—	74·3	72·6	72·1	71·9
$n = 4$ $z = 37$	Gesamtzahl der Drähte $z. Z$	37	259	703	1369	2257
	Raumausnützung	—	75·2	73·5	73·0	72·8
$n = 5$ $z = 61$	Gesamtzahl der Drähte $z. Z$	61	427	1159	2257	3721
	Raumausnützung	—	75·7	74·0	73·5	73·3

Ist die Raumausnützung nach den Formeln 2 bis 7 vorausbestimmt, so kann eine Übereinstimmung derselben mit den thatsächlich erreichten Werten mit Abweichungen vom $\pm$ 2 % erwartet werden. Sie ist indessen, insbesondere bei unregelmässigem Aufbau, nicht immer vorhanden; vielfach wird für kombinierte Seile die grösste mögliche Raumausnützung zu 60 % angegeben. Von wesentlichstem Interesse ist eine gute Raumausnützung für die Fabrikation isolierter Leitungen, da hierdurch eine wesentliche Ersparnis an Isoliermaterialien erreicht werden kann.

12. Andere als runde Formen bei Mehrfachleitern.

Für den konstruktiven Aufbau der für Kabel bestimmten Leiter werden mit Rücksicht auf eine günstige Raumausnützung auch andere als runde Formen verwendet. Solange das Kabel nur einen Leiter erhält, ergiebt sich die Raumausnützung wie vorher beschrieben. Aus den mannigfaltigsten Gründen, wobei die Ersparnis an Arbeit und Isoliermaterialien einer der wesentlichsten ist, werden innerhalb desselben Kabels mehrere Leiter untergebracht. Werden die Leiter konzentrisch, durch Isolierschichten voneinander getrennt, übereinander angeordnet, so ist die Raumausnützung günstig. Anders wenn die einzelnen isolierten Leiter miteinander verseilt werden. Hier ergeben sich erhebliche Mehraufwendungen an Isoliermaterial.

Betrachten wir nunmehr die in Fig. 3 wiedergegebenen Kabelquerschnitte. Hier ist durch andere Formengebung eine grosse Raumersparnis ersichtlich. Fig. 3d zeigt ein Dreileiterkabel der British Insulated and Helsby Cables Line, Liverpool, bei dem die Aussenleiter grösseren Querschnitt als der Mittelleiter besitzen und segmentartig geformt sind.

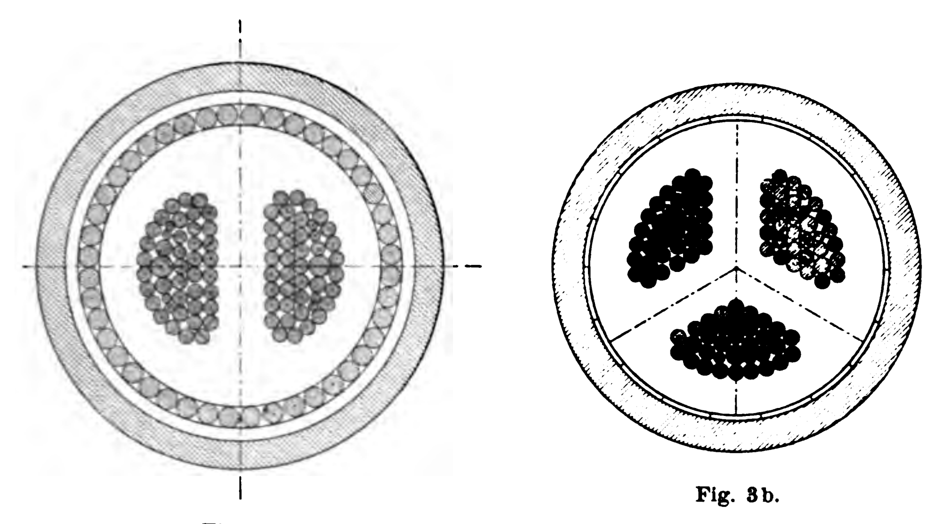


Fig. 3a.

Fig. 3b.



Fig. 3c.

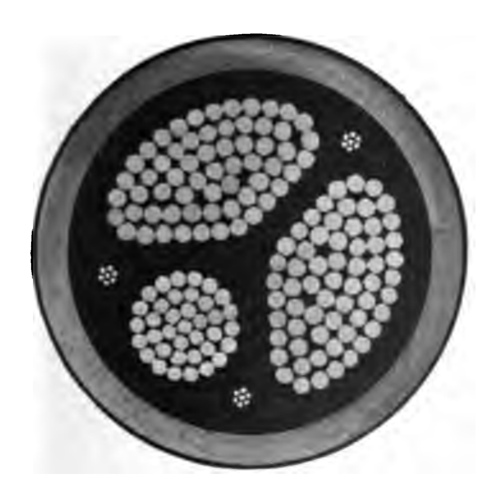


Fig. 3d.



Fig. 3e.

Die gleiche Firma baut konzentrische Kabel, bei denen sie den runden Querschnitt der einzelnen Drähte (Fig. 3 e) durch Teilabschnitte eines Ringes ersetzt.

Die durch derartige Anordnungen gebotenen Vorteile erkauft man allerdings mit einer geringeren Biegsamkeit gegenüber den Kabeln mit runden Litzen, abgesehen von den etwas ungünstigeren elektrischen Eigenschaften.

Kupfer.

13. Einfluss der Beimischungen zum Kupfer.

Das zur Verwendung kommende Kupfer muss möglichst chemisch rein sein, da fremde Beimischungen die Leitfähigkeit des Materials ganz erheblich beeinträchtigen. Geringe Beimischungen fremder Metalle können Kupfer kalt- oder rotbrüchig machen, so z. B. genügen 0·5 % Antimon oder 0·3 % Blei, um Neigung zum Rotbruch herbeizuführen, 2·25 % Kupferoxyd führen Kaltbruch und 6·7 % Rotbruch herbei.

14. Zusammensetzung des Kupfers.

Die Zusammensetzung des Kupfers hängt wesentlich vom Fundorte ab, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

Tabelle No. 6.

Erzeugungsort	Gehalt in Prozenten an										Bemerkung
	Kupfer	Silber	Blei	Arsen	Antimon	Nickel	Eisen	Wismut	Sauerstoff	Schwefel	
Garkupfer.											
Mansfeld	98·370	0·020	0·600	—	—	0·360	0·050	—	0·580	0·020	—
Schweden . . .	99·170	—	0·470	—	—	—	0·050	—	—	0·110	0·5 % Mangan
Südaustralien . .	99·480	—	0·360	—	—	—	—	0·048	—	—	—
Raffiniertes Kupfer.											
Oker (Hampe) . .	99·325	0·072	0·061	0·130	0·095	0·064	0·063	0·052	0·117	0·001	0·012 % Kobalt
	99·357	0·072	—	0·104	0·067	0·079	0·065	0·051	0·157	0·001	0·010 % "
Mansfeld (Hampe, Seigerhütte Hettstedt)	99·612	0·029	0·020	0·017	0·002	0·211	0·004	—	0·075	0·002	—
Riechelsdorf . .	99·311	—	0·210	—	—	0·280	0·020	—	—	—	0·08 % Alkalien
Mansfeld (div. Sort.)	99·400 bis 99·550	0·028 bis 0·030	0·043 bis 0·103	—	—	0·239 bis 0·275	0·025 bis 0·132	—	—	—	—
Chile	99·721	0·030	0·204	—	—	—	0·045	—	—	—	—
	99·742	0·016	0·132	—	—	—	0·110	—	—	—	—
Oberer See, Nordamerika . . .	99·920	0·030	—	—	—	—	—	—	0·280	—	—
	99·890	0·030	—	—	—	0·003	0·005	—	0·190	—	—
	99·830	0·030	—	—	—	0·030	—	—	0·220	—	—
Arizona, Nordamerika	99·990	0·008	—	—	—	—	0·021	—	—	—	—
	99·990	0·008	—	—	—	—	0·014	—	—	—	—
Übergares Kupfer.											
Oker (Hampe) . .	98·806	0·069	0·035	0·102	0·064	0·064	0·056	0·048	0·806	0·002	0·007 % Kobalt (übergar)
Mansfeld (Hampe)	98·905	0·029	0·021	0·022	0·006	0·220	0·003	—	0·746	0·004	desgl.
	99·658	0·031	0·020	0·018	0·004	0·210	0·003	—	0·046	0·002	überpolt

15. Deutsche und englische Kupfernormalien.

In den folgenden Kupfernormalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker sind alle Bedingungen zusammengestellt, denen das Material genügen muss, um für elektrische Zwecke Verwendung finden zu können.

Kupfernormalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

§ 1. Der spezifische Widerstand des Leitungskupfers wird gegeben durch den in Ohm ausgedrückten Widerstand eines Stückes von 1 m Länge und 1 mm Querschnitt bei 15° C.

§ 2. Als Leitfähigkeit des Kupfers gilt der reziproke Wert des durch § 1 festgesetzten spezifischen Widerstandes.

§ 3. Kupfer, dessen spezifischer Widerstand grösser ist als 0·0175, oder dessen Leitfähigkeit kleiner ist als 57, ist als Leitungskupfer nicht annehmbar.

§ 4. Als Normalkupfer von 100 % Leitfähigkeit gilt ein Kupfer, dessen Leitfähigkeit 60 beträgt.

§ 5. Zur Umrechnung des spezifischen Widerstandes oder der Leitfähigkeit von anderen Temperaturen auf 15° C. ist in allen Fällen, wo der Temperaturkoeffizient nicht besonders bestimmt wird, ein solcher von 0·4 % für 1° C. anzunehmen.

Von den durch diese Normalien gestellten Bedingungen kann abgewichen werden, wenn an die Festigkeit des Kupfers aus besonderen Gründen grosse Anforderungen gestellt werden. Dieser Ausnahmefall wird sich auf Freileitungen beschränken, wenn es sich darum handelt, örtlicher Schwierigkeiten halber grössere Spannweiten zu wählen, oder wo wegen mechanischer Beanspruchung, z. B. bei Schleifleitungen, ein Material von grösserer Festigkeit erforderlich wird, dessen Leitfähigkeit[1]) dann geringer ist als es die Normalien verlangen.

Der Vollständigkeit wegen folgen noch die in England üblichen Normalien.

Kupfernormalien der englischen Kupferkommission.

§ 1. Als Normalkupfer von hoher Leitungsfähigkeit für hartgezogenen Draht wird Matthiessens Zahl 0·153858 Ohm fixiert, gültig für einen Draht von 1 m Länge und 1 g Gewicht bei 60° F. = 15·5° C.

§ 2. Als hartgezogenes Kupfer wird dasjenige angesehen, das sich um nicht mehr als 1 % ausdehnt, bevor es reisst.

§ 3. Als Normalkupfer von hoher Leitungsfähigkeit für ausgeglühten Draht wird Matthiessens Zahl von 0·150822 Ohm fixiert, gültig für einen Draht von 1 m Länge und 1 g Gewicht bei 15° C.

§ 4. Das spezifische Gewicht von Kupfer wird als 8·912 angenommen.

§ 5. Der Temperaturkoeffizient wird als 0·00238 für 1° F. oder 0·004284 für 1° C. festgesetzt.

§ 6. Widerstand und Gewicht von Leitern werden aus der wirklichen Länge von Drähten berechnet.

§ 7. Für Berechnung von Tabellen über Drahtseile soll ein Drall = zwanzigmal dem Kaliber (minus eine Drahtdicke) als Normale genommen werden.

---

[1]) Z. B. ist für Bronzedrähte von 2 mm Ø anzugeben:

46 kg	Festigkeit	pro	mm²	bei	98 %	Leitfähigkeit
50 „	„	„	„	„	85 %	„
70 „	„	„	„	„	60 %	„
75 „	„	„	„	„	40 %	„
80 „	„	„	„	„	30 %	„

§ 8. Für alle Leiter wird für Widerstand und Gewicht eine Toleranz von 2 % erlaubt.

§ 9. Für verzinnte Drähte wird eine Zunahme von 1 % gestattet für den aus dem Durchmesser berechneten Widerstand für die Drähte zwischen den Nummern 22 und 12 S. W. G. (2·6 mm und 0·7 mm).

16. Angaben über marktgängige Kupferleitungen.

Die in der Praxis verwendeten Kupferleitungen werden je nach dem Verwendungszweck aus einer mehr oder weniger grossen Anzahl von Drähten zusammengesetzt, und zwar zeigen die folgenden beiden Tabellen die üblichsten Dimensionen und gleichzeitig die in Frage kommenden Gewichte und Widerstände.

Tabelle No. 7.

Gewichte und Widerstand von blanken Kupferleitungen.

Querschnitt mm^2	Durchmesser mm	Zahl der Drähte	Durchmesser jeden Drahtes mm	Widerstand von 1000 m bei 15° C. Ohm	1 Ohm entspricht Metern	Gewicht pro 1000 m kg
1	1·13	1	1·13	17·45	57	8·9
1·5	1·38	1	1·38	11·63	86	13·35
2·5	1·79	1	1·79	6·98	143	22·25
4	2·26	1	2·26	4·36	229	35·6
6	2·77	1	2·77	2·91	344	53·4
10	3·57	1	3·57	1·745	573	89
16	4·52	1	4·52	1·090	917	142·4
25	5·65	1	5·65	0·698	1 433	222·5
35	6·68	1	6·68	0·499	2 004	311·5
50	7·98	1	7·98	0·349	2 865	445
16	5·1	7	1·70	1·090	917	148
25	6·5	19	1·30	0·698	1 433	230
35	7·7	19	1·53	0·499	2 004	328
50	9·2	19	1·83	0·349	2 865	461
70	10·9	19	2·17	0·250	4 000	646
95	12·6	19	2·52	0·184	5 435	876
120	14·5	19	2·84	0·145	6 897	1 105
150	15·8	19	3·19	0·116	8 621	1 380
185	17·6	37	2·52	0·094	10 638	1 705
240	20·4	37	2·87	0·073	13 699	2 210
310	22·8	37	3·26	0·056	17 857	2 850
400	26·3	37	3·71	0·044	22 727	3 690
500	29·4	37	4·14	0·035	28 571	4 610
625	32·9	37	4·64	0·028	35 714	5 765
800	37·2	37	5·24	0·022	45 454	7 380
1000	41·6	37	5·86	0·017	58 824	9 200

Tabelle No. 8.

Gewichte und Dimensionen blanker biegsamer Kupferseile.

Der Widerstand in Ohm ist Tabelle No. 7 S. 12 zu entnehmen.

Querschnitt mm^2	Durchmesser mm	Anzahl der Drähte	Gewicht pro 1000 m
1	1·3	7	9
1·5	1·6	7	14
2·5	2·1	7	23
4	2·6	19	37
6	3·3	19	55
10	4·7	49	93
16	6·0	84	149
25	7·5	84	233
35	8·5	133	328
50	10·0	133	472
70	12·0	189	662
95	14·0	259	897
120	16·0	336	1140
150	17·5	392	1420
185	23·5	588	1750
240	25·5	931	2250
310	29·5	931	2930
400	33·5	931	3810
500	38·5	1323	4690
625	42·0	1813	6060
800	47·0	2989	7480
1000	53·5	2989	9680

Eisen.

17. Verwendungsgebiet, Gewicht und Widerstand von Eisenleitungen.

Leitungen aus Eisen werden meistens nur dann verwendet, wenn beabsichtigt wird, in die Leitungen einen grösseren Widerstand zu legen, wie z. B. in Bogenlichtstromkreisen. Auch wenn sich chemische Einflüsse in einer Anlage geltend machen, denen Eisen besser zu widerstehen scheint als Kupfer, wäre seine Verwendung am Platze. Indessen ist die Verwendbarkeit beschränkt, wenn es sich um Wechselstromanlagen handelt, jedenfalls sollte der Durchmesser des verwendeten Drahtes dann entweder gar nicht oder wenig 5 mm überschreiten. Sind grössere Querschnitte erforderlich, so werden mehrere Leitungen parallel geschaltet. Eisler und Kallir haben eingehend untersucht, unter welchen Verhältnissen Eisen als Leitungsmaterial in Hochspannungsanlagen verwendet werden kann. [1]) Jedenfalls

1) Elektrischer Neuigkeits-Anzeiger und maschinentechn. Rundschau. Wien 1900, Novemberheft.

sind Eisenleitungen für diesen Zweck im Weizer Elektrizitätswerk seit längeren Jahren bei einer Spannung von 2000 Volt in Betrieb.

In der Regel werden die Leitungen, um sie gegen Rost zu schützen, verzinkt verwendet.

Tabelle No. 9.

Gewicht und Widerstand von Eisenleitungen.

Querschnit mm²	Durchmesser mm	Zahl der Drähte	Durchmesser jeden Drahtes	Widerstand von 1000 m bei 15° C. Ohm	1 Ohm entspricht Metern	Gewicht pro 1000 m kg
1·5	1·38	1	1·38	100	10	11·4
2·5	1·79	1	1·79	60	16·67	19·4
4	2·26	1	2·26	37·5	26·67	30·4
6	2·77	1	2·77	25	40	45·5
10	3·57	1	3·57	15	66·67	76
16	5·10	7	1·70	9·4	106·38	128
25	6·40	7	2·13	6	166·67	200

Aluminium.

18. Anlagen, in denen Aluminium verwendet wird.

Im Jahre 1896 wurde der erste Versuch gemacht, für elektrische Leitungen Aluminium als Ersatz für Kupfer einzuführen, ohne zunächst besondere Erfolge damit zu erzielen.

Erst als durch das Vorgehen einer Finanzgruppe in den Vereinigten Staaten der Preis für Kupfer auf eine enorme Höhe getrieben wurde, wurden eingehendere Versuche im grösseren Massstabe vorgenommen, die bald dazu führten, dass grössere Anlagen mit Aluminiumleitungen ausgerüstet wurden, wobei sie aber im wesentlichen nur als blankes Freileitungsmaterial Verwendung fanden.

1898 wurde in den Vereinigten Staaten eine Fernleitung von 130 km zur Übertragung von 10000 PS. gebaut,[1]) deren Material aus 97 % Aluminium, 1·95 % Kupfer, 0·25 % Silicium und 0·3 % Eisen besteht. Die Standard Electric Co. in San Francisco folgte mit einer Anlage, in welcher der Strom bei einer Arbeitsspannung von 60000 Volt 240 km fortgeleitet wird. Im weiteren Verlauf sind dann eine ganze Anzahl grösserer und kleinerer Anlagen, sowohl in Amerika wie in Europa, mit Aluminiumleitungen ausgerüstet worden, von denen wir noch die folgenden interessanten in nebenstehenden Tabellen nennen, ohne allerdings vollständig zu sein.

Immerhin scheinen diese Erfolge in Amerika nur unter gewissen Opfern der Fabrikanten möglich gewesen zu sein, da nach Kershaw[2]) im Durchschnitt der letzten Jahre der Preis des Rohaluminium Mk. 4480 pro Tonne betragen, während gezogener Draht zum Durchschnittspreise von Mk. 2700 pro Tonne abgegeben worden sein soll.[3]) Da erwartet werden muss, dass nach weiterer Einbürgerung des Metalles die Preisverhältnisse sich wesent-

1) E. A. 1898, No. 87.
2) E T Z 1901, Heft 5.
3) Über die Zunahme der Aluminiumproduktion vgl. ETZ 1901, S. 15.

Tabelle No. 10.

Betrieb der	Ort	Übertragene Arbeit PS	Länge der Linie km	Arbeits-Spannung Volt
Snoqualmie Falls Power Co.	Tacoma-Seattle	10 000	55	29 000[2])
Blue Lakes Power Co.	Stockton	1 000	74	25 000
North Yuba Power Co.	Sacramento	1 000	102	?
Hartford Electric Light Co.	Hartford	2 000	18	10 000
Municipal Supply Co., Orillia, Ontario	Rogged Rapids and Orillia	2 000	29	?
Big Cottonwood Power Co.	Utah	500	?	12 000
Telluride Power Co.	Provo, Utah	2 000	130	?
Niagara Falls Hydraulic Co.	Niagara Falls	$\frac{3\,000}{1\,000}$	$\frac{1}{16}$	?
Niagara Falls Power Co.[1])	Niagara-Buffalo	?	34	22 000
Bay Counties Power Co.	Colgate und Electra nach Oakland	14 000	232	60 000

Tabelle No. 11.

Dimensionen der für ausgeführte Fernleitungen verwendeten Aluminiumleitungen.[3])

	Länge km	Anzahl der Leiter	Anzahl der Drähte jeden Leiters	Durchmesser der einzelnen Drähte	Querschnitt jeden Leiters
Niagara, Buffalo	34	3	37	—	252
Shawinigen Montreal	137	3	7	4·1	93
Electro Mission, San Jose	160	3	37	2·9	240
Colgate Oakland	232	3	7	4·4	107
Farmington, Hartford	17·7	3	7	5·8	170
Lewiston, Ma.	5·6	3	7	3·3	73
Ludlow, Mass.	7·2	6	7	3·7	69

lich anders gestalten werden, so können die in Amerika erzielten Erfolge noch nicht ohne weiteres als befriedigend angesehen werden und können auf die hierorts herrschenden Verhältnisse grösseren Einfluss kaum gewinnen.

19. Leitfähigkeit und besondere Eigenschaften des Aluminium.

Die Leitfähigkeit des Aluminium verhält sich zu der des Kupfers wie 1 : 1·7, so dass also die erforderlichen Kupferquerschnitte mit 1·7 multipliziert werden müssen, um die für Aluminium gültigen zu erhalten. Nähere Angaben über das Metall sind aus den Tabellen No. 12 und 14 zu entnehmen.

1) STILLWELL, Transactions American Inst. Electr. Eng. 1901, S. 608—617.
2) Nach anderen Angaben 36 000 Volt.
3) Eng. Mag., September 1903, S. 873. ETZ 1900 S. 797; Electrician 1901. 27. Dez.

Für isolierte Leitungen wird Aluminium kaum in Frage kommen, da der durch den grösseren Querschnitt bedingte Mehraufwand an Isoliermaterialien den billigeren Preis des Metalles wieder ausgleichen wird. Indessen wird berichtet,[1]) dass Aluminiumkabel als Speiseleitungen von Strassenbahnen dienen.

Eine vorzügliche Eigenschaft des Aluminium, seine grosse Widerstandsfähigkeit gegen Oxydation, macht es besonders für Freileitungen geeignet; es ist gegen trockene und feuchte Luft, Wasser, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und viele organische Säuren nahezu unempfindlich und wird von Salpeter- und verdünnter Schwefelsäure nur langsam angegriffen, von Salzsäure und alkalischen Flüssigkeiten dagegen rasch gelöst.[2])

20. Einfluss der Atmosphärilien.

Aus dem letzteren Grunde ist auch die Verwendung von Aluminiumleitungen in manchen Gegenden bedenklich, so in der unmittelbaren Nähe von Meeren und Salinen, sowie in solchen Fabrikgegenden, deren Luft durch alkalische Beimischungen stark verunreinigt ist. In diesem Falle bilden sich Oxyde, die, von grauer Farbe, die Oberfläche nahezu unverändert erscheinen lassen, trotzdem der Oxydationsprozess schon ziemlich weit vorgeschritten und demzufolge eine Querschnittsverringerung stattgefunden hat. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich jedoch pockenartige Korrosionen, die bei litzenförmigen Leitern sich zunächst nur auf der Oberfläche der äusseren Drähte bemerkbar machen, während die durch diese geschützten inneren Drähte meistens ihren metallischen Glanz behalten haben. In der Regel wird auch eine Gewichtszunahme konstatiert werden können, die auf die Bildung von Aluminiumoxyden (Thonerde) zurückgeführt werden muss, da diese spezifisch schwerer als das Metall selbst sind.

Voraussichtlich werden aber derart ungünstig wirkende Umstände schon bei der Wahl des Leitungsmaterials bekannt sein, so dass man in solchen Fällen schon von vornherein von Aluminium Abstand nehmen kann.

E. Wilson berichtete im Jahre 1902 der British Association über ausgedehnte Versuche mit Aluminiumleitungen, welche vorgenommen wurden, um deren Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische Einflüsse festzustellen. Es wurden 3·2 mm starke Drähte in Holzrahmen gespannt und 13 Monate lang im Freien belassen. Die Leitungen, die Zusätze von Silicium, Eisen, Kupfer, Nickel, Mangan und Zink erhalten hatten, waren stellenweise stark angegriffen. Durch die Feststellung der Leitfähigkeit vor und nach dem Versuch konnten auch Änderungen in der Struktur der Legierungen festgestellt werden.

Die Versuchsresultate zeigt die nebenstehende Tabelle No. 12.

Wurde dem Aluminium weniger als $^1/_2\,^0/_0$ Silicium und Eisen beigemengt und 0·11 $^0/_0$ Cu beigegeben, so war eine Abnahme der Leitfähigkeit um 1·81 $^0/_0$ zu konstatieren, die durch Beimengungen[3]) grösserer Mengen Cu (No. der Versuche 16, 4, 13, 14, 15) immer mehr anstieg, bis sie bei 2·61 $^0/_0$ Zusatz schon 8·07 $^0/_0$ betrug.

---

1) E. A. 1899, S. 2836.

2) Nach Angaben der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen.

3) Auf den Einfluss der Beimengungen zum Aluminium wird bereits 1899 hingewiesen, vgl. E. A. 1899, S. 2693 nach The Journal of Electricity, Power and Gas, S. Francisco.

Tabelle No. 12.

	Zusatz zum Aluminium in %						Spezifischer Widerstand in 10^{-6} Ohm vor dem Versuch	Widerstandsänderung in % nach dem Versuch
	Si	Fe	Cu	Ni	Mn	Zn		
16	0·31	0·37	0·11	—	—	—	2·92	1·81
4	0·38	0·25	0·16	—	—	—	2·88	1·83
13	0·38	0·25	1·58	—	—	—	3·34	4·50
14	0·40	0·31	1·86	—	—	—	3·25	6·18
15	0·40	0·40	2·61	—	—	—	3·34	8·07
1	0·38	0·22	0·17	—	—	0·62	2·86	1·98
2	0·43	0·28	0·30	—	—	1·20	2·94	1·30
5	0·43	0·39	0·09	—	—	2·04	3·07	2·30
7	0·37	0·25	0·05	0·75	—	—	3·05	1·21
8	0·35	0·29	0·09	1·19	—	—	3·24	2·07
20	0·37	1·10	0·06	2·25	—	—	3·18	1·64
24	0·35	1·16	0·09	—	—	—	2·97	0·60
3	0·37	0·28	0·59	—	—	0·59	3·06	2·49
6	0·39	0·31	0·63	—	—	1·20	3·12	2·00
17	0·35	0·53	0·10	0·83	—	0·90	3·03	0·99
12	0·31	0·59	0·19	1·09	—	0·73	3·33	1·21
18	0·43	0·40	0·21	1·13	—	1·94	3·24	2·59
19	0·35	0·29	0·11	2·01	—	1·77	3·26	3·21
11	0·39	0·56	0·24	2·31	—	0·38	3·48	1·93
22	0·37	0·43	1·08	1·29	—	—	3·41	— 1·41
21	0·39	2·57	0·10	1·39	—	—	3·24	— 0·80
10	0·32	0·54	0·02	—	0·05	—	3·09	0·62
9	0·31	0·35	0·03	—	0·35	—	3·30	1·92
23	0·44	0·56	0·09	—	1·78	—	3·49	2·20

Bemerkenswert ist No. 22 der Versuchsreihe. Hier wird eine Zunahme der Leitfähigkeit gefunden. Die Zerreissfestigkeit dieser Legierung betrug 32·3 kg pro mm², die Elastizitätsgrenze lag bei 25·7 kg/mm². Wurde dieser Legierung mehr Eisen zugeführt (No. 21), so geht die Zerreissfestigkeit auf 29·4 kg/mm² zurück.

Sowohl in mechanischer als auch elektrischer Hinsicht haben sich dem erwähnten Bericht nach Legierungen am besten gehalten, denen 1 % Nickel und 1 % Kupfer zugesetzt war.

21. Festigkeit.

In vielen Fällen hat sich Aluminium gut bewährt, zumal seine Festigkeit ziemlich nahe an die des Kupfers heranreicht, sich nämlich wie 6 : 5 (Kupfer zu Aluminium) verhält. Sie beträgt pro mm² Querschnitt beim Kupfer 21·06 bis 45·64 kg, beim Aluminium 16·85 bis 38·62 kg. Da aber die Querschnitte von Aluminium, um die gleichen Stromstärken bei gleichen Verlusten wie bei Kupfer übertragen zu können, 1·7 mal so gross gewählt werden müssen, ergiebt sich eine beinahe gleich grosse Totalfestigkeit.

Häufig in Aluminiumleitungen aufgetretene Brüche können auf die obenerwähnten Korrosionen zurückgeführt werden, wenn auch nicht ausgeschlossen ist, dass Ungleichmässigkeiten im Material, kristallinisches Gefüge u. s. w., die Ursache war. Im letzteren Falle wird aber die Technik Wege zu finden wissen, um den Anforderungen, welche in dieser Beziehung an das Leitungsmaterial gestellt werden müssen, Genüge zu leisten.

Aluminium besitzt,[1]) ebensowenig wie Kupfer, keine bestimmte Elastizitätsgrenze, da schon bei geringeren Belastungen bleibende Dehnungen auftreten, die bei einer Beanspruchung mit 10 bis 12 kg pro mm² so gross werden, dass man jedenfalls einen grösseren Zug nicht zulassen darf. Die folgende Tabelle, welche von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft angegeben ist, giebt über die bei höherer Belastung auftretende Dehnung Aufschluss.

Tabelle No. 13.

Draht-durchmesser mm	Querschnitt mm²	Länge m	Belastung pro mm² kg	Dehnung mm
1	0·785	1	26	20
1·5	1·767	1	23	20
2	3·142	1	23	30
2·5	4·909	1	22	30
3	7·069	1	20	30
3·5	9·621	1	20	32
4	12·566	1	19	32
4·5	15·904	1	19	37

In der nebenstehenden Zusammenstellung (Tabelle No. 14) ist ein Vergleich zwischen Kupfer und Aluminiumleitungen gezogen, aus der auch die Konstruktion der Aluminiumseile hervorgeht.

22. Leitungsverbindung bei Verwendung von Al.

Eine grosse Erschwerung der Arbeit mit Aluminiumleitungen ist die, dass es bisher noch nicht gelungen ist, einwandfreie Lötstellen herzustellen. Aluminium ist in so hohem Masse elektropositiv, dass man von einer Verbindung mit anderen Metallen absehen muss, um elektrolytischen Zersetzungen vorzubeugen. Die nach den zahlreich angegebenen Methoden ausgeführten Verbindungsstellen ergeben zwar häufig unmittelbar nach ihrer Fertigstellung Lötstellen, die widerstandsfähig genug zu sein scheinen. Es haben sich indessen nach längerer oder kürzerer Zeit, wie JAMES SWINBOURNE in einer Sitzung der Elektrotechnischen Gesellschaft in London, Januar 1901, mitteilte, Veränderungen in den Verbindungen gezeigt, die auf chemische Vorgänge zurückzuführen seien und die Festigkeit ganz wesentlich beeinträchtigen. Infolgedessen ist auch bei fertiggestellten Linien eine Verminderung der Leitfähigkeit der ganzen Strecke um 10 % von derjenigen des Aluminium konstatiert worden, während bei Kupfer eine derartige Verminderung der Leitfähigkeit nie beobachtet wird.

Man thut daher gut, von der Verbindung der Aluminiumleitungen durch Löten noch so lange abzusehen, bis einwandfreie Methoden gefunden worden sind,[2]) und bis dahin Klemmverbindungen zu wählen, wie sie z. B. von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, in den Handel gebracht und später[3]) näher beschrieben werden.[4])

1) Vgl. auch E. A. 1899 S. 2693 u. S. 2836.

2) Neuerdings wird auch das Zusammenschweissen der Leitungen empfohlen als einwandfreieste Verbindung.

3) Hdb. VI, 2: Leitungsverbindungen.

4) Prof. THIWING vom KNOX College giebt als Lötmittel für Aluminium neuerdings an: 30 Teile Zink, 5 Teile Wismut, 66 Teile Zinn. Es soll hauptsächlich aus dem Grunde günstig wirken, weil der spez. Widerstand dieser Legierung gleich dem des Aluminium ist (L'Industrie électrique 1902 S. 253). — Vgl. ferner ETZ 1903, S. 397, 449. ETZ 1900, S. 798.

Tabelle No. 14.

Vergleichende Zusammenstellung

der auf die Normalien der Kupferquerschnitte bezogenen Aluminiumdrähte und Seile bei gleichem Widerstand und unter Zugrundelegung des Aluminiumwiderstandes von 0·02874 Ohm pro m und mm² bei 15° C., nach Angabe des Kabelwerkes der A. E. G.

Querschnitt mm²		Leitungswiderstand pro 1000 m bei 15°	Anzahl der einzelnen Drähte		Durchmesser der einzelnen Drähte mm		Gesamtdurchmesser ca. mm		Nettogewicht pro 1000 m ca. kg	
Kupfer	Aluminium	Ohm	Kupfer	Aluminium	Kupfer	Aluminium	Kupfer	Aluminium	Kupfer	Aluminium
0·5	0·82	34·90	1	1	0·798	1·04	0·8	1·04	4·5	2·13
1	1·65	17·45	1	1	1·128	1·45	1·13	1·45	8·9	4·3
1·5	2·47	11·634	1	1	1·382	1·77	1·4	1·77	13·4	6·4
2	3·29	8·725	1	1	1·596	2·05	1·6	2·05	17·8	8·6
2·5	4·12	6·980	1	1	1·783	2·29	1·8	2·29	22·2	10·7
3	4·94	5·817	1	1	1·955	2·51	1·95	2·51	26·4	12·8
4	6·60	4·363	1	1	2·258	2·90	2·25	2·90	36	17·2
5	8·24	3·490	1	1	2·522	3·24	2·52	3·24	45	21·4
6	9·88	2·908	1	1	2·762	3·55	2·8	3·55	53	25·7
7	11·53	2·493	1	1	2·986	3·83	3	3·83	62	30
10	16·47	1·745	1	1	3·565	4·58	3·56	4·58	89	43
12·5	20·58	1·396	1	1	3·990	5·12	4	5·12	111	54
16	26 35	1·091	1	7	4·520	2·18	4·5	6·50	142	69
20	32·94	0·873	1	7	5·048	2·45	5·05	7·40	178	86
25	41·18	0·698	1	7	5·640	2·74	5·64	8·20	223	107
35	57·64	0·499	7	19	2·522	1·97	7·6	9·85	311	150
50	82·35	0·349	19	19	1·831	2·35	9·1	11·75	445	214
70	115·29	0·249	19	19	2·163	2·78	10·8	13·90	623	300
95	156·46	0·184	19	19	2·522	3·24	12·6	16·18	846	407
115	189·41	0·152	19	19	2·780	3·56	13·9	17·80	1023	492
120	197·64	0·145	19	19	2·840	3·64	14·2	18·20	1068	514
125	205·80	0·140	19	19	2·900	3·71	14·5	18·55	1118	535
130	214·10	0·134	19	19	2·960	3·79	14·8	18·95	1157	557
140	230·58	0·125	19	19	3·070	3·93	15·5	19·65	1246	600
150	247·05	0·116	19	19	3·180	4·07	16	20·35	1335	642

23. Preisvergleiche Cu und Al.

Die Verwendung von Aluminium wird hauptsächlich in den Zeiten vorteilhaft sein, wo die Preisdifferenz zwischen Kupfer und Aluminium eine sehr grosse ist. Unter Berücksichtigung der spezifischen Gewichte und des Verhältnisses der Leitungsfähigkeit der beiden Metalle ergiebt sich für Kupfer der Paritätspreis nach der Formel

$$Cu = \frac{Al\,1{\cdot}7\cdot 2{\cdot}6}{8{\cdot}9} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (12)$$

worin Cu den Preis des Kupfers, Al den des Aluminium bedeutet.

Im allgemeinen würde die Verwendung des Aluminium als wirtschaftlich angesehen werden können, wenn der Gewichtspreis für Kupfer mehr als 50 % von dem Preise für Aluminium beträgt.

Die Isoliermittel für Leitungen und Apparate.

Allgemeines.

24. Die isolierten Drähte. Schädliche Einwirkungen auf dieselben.

Während bei blanken Leitungen, welche der Fortleitung des elektrischen Stromes dienen sollen, nur diejenigen Punkte isoliert werden müssen, an welchen die Drähte befestigt werden, muss bei den isolierten der Leiter in seiner ganzen Länge mit einer Isolierung umgeben werden, die je nach dem Verwendungszweck, nach dem Ort der Verwendung und der Spannung ganz verschieden sein wird. Von allen isolierten Leitungen, welche für elektrische Apparate und Maschinen erforderlich sind und für die noch die besondere Bedingung beachtenswert ist, dass die Isolierung keinen erheblichen Platz in Anspruch nehmen darf, um die Leiter in einem beschränkten Raum unterbringen zu können, sowie von den für Schwachstromanlagen bestimmten, sei hier jedoch ganz abgesehen; es werden daher nur die Leitungen betrachtet, welche für die Fortleitung des Stromes in elektrischen Starkstromanlagen in Betracht kommen.

Bei der Beurteilung der Abhängigkeit der Isolierung von der Örtlichkeit sind die verschiedensten Gesichtspunkte massgebend, die sich jedoch im wesentlichen in drei zusammenfassen lassen, nämlich je nachdem die an dem betreffenden Orte vorherrschenden Einflüsse eine mechanische oder chemische Zerstörung der Isolierung herbeiführen oder hohe Temperaturen die Güte derselben beeinträchtigen können.

Mechanische Beschädigungen sind nun entweder durch eine in der Richtung der Leitung auftretende Überlastung infolge zu starken Anspannens, durch die Lage der Leitungen oder durch die in den betreffenden Räumen ausgeübte Fabrikation möglich. Eine zu starke Zugbeanspruchung wird bei Leitungen, welche innerhalb der Gebäude verlegt werden, selten vorkommen, da dieselben in kurzen Zwischenräumen befestigt werden, dagegen ist bei Freileitung, insbesondere bei weiten Spannweiten, hierauf besonders zu achten.

Müssen Leitungen so verlegt werden, dass sie mechanischen Beschädigungen ausgesetzt sind und ist ihre Verlegung in irgendwelche Schutzmittel, Rohre oder dergleichen, nicht möglich, so können sie entweder mit Stahldrähten umwunden oder umklöppelt werden oder sie werden mit eisernen Bändern spiralförmig umwickelt. Werden grosse Anforderungen an die Biegsamkeit der Leitungen gestellt, so werden sie auch mit biegsamen Metallschläuchen überzogen oder in Leder eingenäht.

Es darf ferner nicht ausser acht gelassen werden, dass durch mechanische Verletzungen nicht nur Stromverluste die Folge sind, sondern dass auch in manchen Räumen eine Feuers- und Explosionsgefahr herbeigeführt werden kann, wenn in diesen leicht entzündliche oder explosible Stoffe aufbewahrt werden.

Um chemischen Einflüssen zu begegnen, ist es meistens erforderlich, die Leitungen durch geeigneten Anstrich oder durch Umpressung mit einem Bleimantel zu schützen, falls es nicht möglich ist, sie durch die Art der Verlegung den schädlichen Einflüssen ganz zu entziehen.

In sehr heissen Räumen halten wenige Isolierstoffe stand. Leitungen mit Gummiisolierung können ebensowenig Verwendung finden wie solche, die mit imprägnierten Faserstoffen umsponnen sind. Am besten haben sich sogenannte flammensichere Leitungen bewährt, deren Faserumspinnung mit einem hitzebeständigen Isolierstoff (z. B. Alaun) getränkt ist oder die mit Asbest direkt umklöppelt werden. Bei der Verwendung von Asbest muss aber beachtet werden, dass dieses Material hygroskopisch ist, also nur in heissen **trockenen** Räumen Anwendung finden darf.

Es ist selbstverständlich, dass in heissen Räumen die Querschnitte der Leitungen so bemessen werden müssen, dass die Temperaturzunahme möglichst gering bleibt.

Der Einfluss der Erwärmung des Leiters auf die Isoliermaterialien ist ein ganz beträchtlicher, so dass es geboten erscheint, die Besprechung derselben den weiteren Ausführungen vorauszuschicken.

Die Erwärmung elektrischer Leitungen.

25. Wärmeerzeugung im Draht. Wärmestrahlung.

Wenn ein Leiter vom elektrischen Strom durchflossen wird, so treten Stromverluste auf, die sich zum grossen Teil in Wärme umsetzen, und zwar verhalten sich die Wärmemengen unter der Voraussetzung gleichen Stromes wie die Widerstände der Leiter. Es ergiebt sich somit, dass derselbe Strom eine grössere Wärmemenge entwickeln wird, wenn er einen grösseren Widerstand durchfliesst als einen geringeren. Da der Widerstand in erster Linie vom Querschnitt abhängig ist, so erhellt, dass zunächst durch die Wahl eines grösseren Querschnittes die Wärmeerzeugung vermindert, dagegen durch die Wahl eines kleineren so verstärkt werden kann, dass sich der Leiter erhitzt und hierdurch eine Beschädigung der um den Draht gelegten Isolierung herbeigeführt werden kann.

Hierbei braucht die Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge des Leiters nicht berücksichtigt zu werden, da es sich in der Installationstechnik meistens um gegebene Längen handelt, an denen also nichts zum Zwecke der Widerstandsverminderung geändert werden kann.

Die entwickelte Wärmemenge ergiebt sich nach dem Joule schen Gesetz:

$$A = 0{\cdot}2401\ J^2\, r\, t \text{ Grammkalorien} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Hierin ist 0·2401 die Menge Wasser in Gramm, welche in einer Sekunde von 0° C. auf 1° C. erwärmt wird.

Die Erwärmung der Leiter ist aber auch ganz wesentlich abhängig davon, ob der Leiter imstande ist, die aufgenommene Wärme schnell wieder abzugeben, sei es durch Ausstrahlung oder durch Ableitung auf andere

Körper; infolgedessen fallen die am Verlegungsort herrschenden Verhältnisse ganz erheblich ins Gewicht. (Heisse Räume, vgl. S. 21.)

Die Temperaturerhöhung des Leiters hängt infolgedessen von dem Verhältnis der erzeugten zur wiederabgegebenen Wärmemenge ab; es wird ein stationärer Zustand eintreten, wenn diese beiden sich gleich sind.

26. Einfluss der Örtlichkeit und der Oberfläche auf die Erwärmung.

Ferner kommt die Beschaffenheit der Leitungsoberfläche in Betracht, da erfahrungsgemäss blanke, glänzende Leitungen ein weit geringeres Wärmestrahlungsvermögen besitzen als solche mit matter Oberfläche. Man kann daher durch Schwärzung der Leitungen erreichen, dass sie sich bei der Beanspruchung durch den gleichen Strom viel weniger erwärmen als wenn sie blank bleiben. Die Schwärzung kann durch Bestreichen mit Schwefelnatriumlösung (nach Kenelly) oder mit einem aus Kienruss und Schellack bereiteten Lack (Uppenborn) erfolgen.

Welche Stromstärken erforderlich sind, um in einem Leiter eine bestimmte Temperaturerhöhung hervorzurufen, zeigen die nebenstehenden, von Kenelly 1889 aufgestellten Tabellen (No. 15), aus denen der Einfluss der Örtlichkeit evident hervorgeht. Die Stromstärken, welche in einem geschlossenen Zimmer einem Kupferdraht eine bestimmte Temperaturerhöhung geben können, müssen nahezu verdoppelt werden, wenn der Leiter, im Freien in ruhiger Luft aufgehängt, die gleiche Temperatur annehmen soll.

Fig. 4.

27. Zulässige Strombelastung der Drähte.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat die zulässige Strombelastung der Leitungen so festgelegt, dass die Erwärmung bei Dauerbelastung 17 ⁰ C. beträgt und unter Zugrundelegung dieser ergeben sich die in der Kurve, Fig. 4, angegebenen Werte.

Nun ist bei kleineren Drahtdurchmessern das Verhältnis des Querschnittes zum Umfang bedeutend günstiger als bei grösseren Durchmessern, so dass wegen der grösseren Wärmestrahlung auch eine grössere Strombelastung der Drähte mit geringen Querschnitten zugelassen werden kann. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ist die Strombelastung für Querschnitte bis 35 mm² vom Verband Deutscher Elektrotechniker seit dem 1. Januar 1903 etwas heraufgesetzt. Diese Drähte erreichen daher aber auch eine etwas höhere Temperatur als in den Kurven, Fig. 4, angegeben bei der Dauerbelastung mit dem maximal zulässigen Strom.

Tabelle No. 15.

Stromstärke für bestimmte Temperaturerhöhung.[1])

I. An nackten, in ruhiger Luft aufgehängten Kupferdrähten.

Durchmesser mm	Querschnitt mm²	5° C.		10° C.		20° C.		40° C.		80° C.	
		blank	geschwärzt	blank	geschwärzt	blank	geschwärzt	blank	geschwärzt	blank	geschwärzt
		1. Im geschlossenen Zimmer.									
2	3·14	12	13	18	20	25	27	35	38	47	53
4	12·6	28	30	40	46	56	64	77	90	105	121
6	28·3	45	50	63	75	90	105	125	150	172	206
8	50·3	64	76	90	108	126	152	179	217	247	305
10	78·5	85	104	120	147	169	207	236	290	329	410
12	113	108	133	150	184	212	264	298	372	416	526
14	154	132	163	184	230	261	328	364	461	512	652
16	201	156	190	220	276	310	392	415	553	610	785
18	254	180	230	256	326	360	462	510	650	715	924
20	314	201	267	293	377	413	532	583	750	819	1070
22	380	237	308	330	430	465	605	662	858	928	1220
24	452	268	348	372	486	524	685	746	970	1050	1380
		2. Im Freien bei ruhiger Luft.									
2	3·14	21	23	29	31	40	44	55	59		
4	12·6	52	54	71	75	100	105	139	145		
6	28·3	90	93	125	132	175	184	244	256		
8	50·3	139	141	192	200	268	280	370	388		
10	78·5	190	196	264	276	367	380	506	533		
12	113	245	257	343	360	478	501	650	700		
14	154	310	325	432	453	602	632	816	877		
16	201	375	393	525	553	728	765	1000	1060		
18	254	443	465	625	660	870	910	1190	1260		
20	314	517	544	728	765	1010	1060	1400	1470		
22	380	586	624	839	880	1160	1220				
24	452	680	710	950	995	1300	1370				

II. An nackten, in ruhiger Luft im geschlossenen Zimmer aufgehängten verzinkten Eisendrähten.

Durchmesser mm	Querschnitt mm²	5° C.	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.
1	0·82	1·5	2·5	3·7	4·5	5
3	6·95	7	9·5	14	17	20
4·1	13	9·5	13·6	20·5	26	30·5
5	19·6	13·5	18	27·5	33	38

Tabelle No. 16 giebt die zulässigen Strombelastungen und gleichzeitig die in der Elektrotechnik üblichen normalen Querschnitte an.

Wenn eine bestimmte Temperaturerhöhung als zulässig betrachtet und mit a der Durchmesser des Leiters, mit J der diesem entsprechende zulässige

1) KENELLY, Electrical World Bd. XIV, S. 374.

Tabelle No. 16.

Zulässige Strombelastung nach den Vorschriften des V. D. E.

Querschnitt in mm²	Betriebsstromstärke in Ampere	Querschnitt in mm²	Betriebsstromstärke in Ampere
0·75	4	95	165
1·0	6	120	200
1·5	10	150	235
2·5	15	185	275
4	20	240	330
6	30	310	400
10	40	400	500
16	60	500	600
25	80	625	700
35	90	800	850
50	100	1000	1000
70	130		

Strom bezeichnet wird, so besteht nach KENELLY[1]) zwischen beiden die Beziehung

$$a = CJ^{2/3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

worin C eine Konstante bedeutet, die von den Abkühlungsverhältnissen und von der Temperaturzunahme, welche man als zulässig angenommen hat, abhängig ist.

Für Kupferdrähte, die in Holzleisten verlegt sind, wird von KENELLY diese Konstante mit 0·374 angegeben, wenn die höchste zulässige Erwärmung bei der doppelten Stromstärke 41·7° C. beträgt, wie von der Londoner Institution of Electrical Engineers empfohlen. Tabelle No. 17 giebt den unter diesen Umständen zulässigen kleinsten Durchmesser, und zwar wenn die Drähte in Holzleisten verlegt sind.[2])

Für frei verlegte, verzinkte Eisendrähte giebt KENELLY die gleichen Daten in Tabelle No. 18, wobei die Querschnitte so bemessen, dass bei dem Doppelten der angegebenen Stromstärke eine Erwärmung um 42° C. eintritt. Der Querschnitt entspricht $q = 0{\cdot}21\ J^{1{\cdot}5}$.

Je mehr die Wärmestrahlung, die ein wesentlicher Faktor für die Abkühlung der Leiter ist, eingeschränkt wird, desto näher kommt der Exponent im Ausdruck für q in den Formeln dem Grenzwert 2.[3])

28. Zulässige Strombelastung bei intermittierendem Betrieb.[5])

Die in Tabelle 16 angegebenen Strombelastungen gelten für Dauerbetrieb.[4]) Es ist also zulässig, sie mit höheren Stromstärken auf kurze Zeit zu belasten, wenn nur die Temperatur im Mittel nicht überschritten wird, welche durch jene Werte festgelegt ist. Hierbei werden naturgemäss die Abkühlungsverhältnisse ihren Einfluss ganz wesentlich ausüben und eine allgemein gültige

1) Electrical World, Bd. XIV, S. 374. UPPENBORN, Kalender 1903, S. 55.

2) Die gleichen Resultate dürften erreicht werden, wenn die Leitungen in Isolierrohr verlegt sind.

3) UPPENBORN, Kalender 1903, S. 56.

4) Vgl. § 5b der Sicherheitsvorschriften des V. D. E.

5) Vgl. ETZ 1900, Heft 51. OELSCHLÄGER, Berechnung von Widerständen bei Motoren für aussetzende Betriebe.

Zahl, wie weit man überlasten kann, ist nicht anzugeben. Indessen wird in anderer Weise eine Grenze gezogen. Die Leitungen müssen gesichert werden;[1]) die eingeschalteten Schmelzstreifen treten bei der doppelten Stromstärke in Thätigkeit. Solange also eine dem Drahtquerschnitt entsprechende Sicherung hält, kann eine höhere Belastung eintreten.

Tabelle No. 17.

Ampere	Durchmesser in mm	Querschnitt in mm	Spannungsverlust in Volt pro km	Ampere	Durchmesser in mm	Querschnitt in mm	Spannungsverlust in Volt pro km
1	0·38	0·11	165·0	130	9·58	72·1	33·7
5	1·09	0·93	100·0	140	10·1	80·1	32·7
10	1·75	2·40	77·7	150	10·5	86·6	32·0
15	2·29	4·12	68·1	175	11·7	108	30·5
20	2·77	6·03	62·1	200	12·8	129	29·1
25	3·20	8·04	58·1	225	13·8	150	28·0
30	3·61	10·2	54·8	250	14·9	174	26·8
35	4·01	12·6	51·8	275	15·8	196	26·2
40	4·37	15·0	49·9	300	16·8	222	25·3
45	4·72	17·5	48·1	325	17·7	246	24·7
50	5·08	20·3	46·1	350	18·6	272	24·1
55	5·41	23·0	44·7	375	19·5	299	23·5
60	5·72	25·7	43·7	400	20·3	324	23·1
65	6·05	28·7	42·3	425	21·1	350	22·7
70	6·35	31·7	41·3	450	22·0	380	22·1
75	6·55	33·7	40·3	475	22·8	408	21·8
80	6·96	38·0	39·3	500	23·6	437	21·4
85	7·24	41·2	38·6	550	25·1	495	20·8
90	7·52	44·4	37·9	600	26·6	556	20·2
95	7·80	47·8	37·2	700	29·5	683	19·2
100	8·08	51·3	36·5	800	32·3	819	18·3
110	8·61	58·2	35·3	900	34·8	951	17·7
120	9·09	64·9	34·6	1000	37·3	1093	17·1

Kupferwiderstand = 1·865 Mikrohmcentim. bei 34° C.
" = 1·645 " " 0° C.

Tabelle No. 18.

Ampere	Durchmesser in mm	Querschnitt in mm	Spannungsverlust in 10 m bei 30° C. Volt
3	1·2	1·1	3·7
4	1·45	1·7	3·2
6	2	3·1	2·63
10	2·9	6·6	2·06
15	3·95	12·2	1·67
20	4·9	18·8	1·45

Eisenwiderstand = 13·6 Mikrohmcentim. bei 30° C.

1) Vgl. Hdb. VI, 1: Sicherungen.

In Fig. 6 sind einige Kurven wiedergegeben, aus denen die Erwärmung eines blanken Drahtes von 6 mm² bei intermittierendem Betrieb und einer Strombelastung von 60 Amp. bei verschiedenen Belastungszeiten hervorgeht. Die normale Strombelastung beträgt 30 Amp. Die hierfür passende Sicherung schmilzt bei 60 Amp. innerhalb zwei Minuten. Aus den Kurven geht hervor, dass eine Stromstärke von 60 Amp. bei intermittierendem Betrieb noch keine Gefahr bedingen kann.

29. Strombelastung für Freileitungen.

In der Regel werden die vom Verband Deutscher Elektrotechniker angegebenen Belastungsgrenzen unterschritten, da die Berechnungen der Leitungen meistens mit Rücksicht auf einen bestimmten, möglichst geringen Spannungsabfall erfolgen und infolgedessen die Erwärmung derselben weit unter der höchst zulässigen Grenze liegt. Die Strombelastung kann aber für Freileitungen höher gewählt werden, weil bei diesen einmal durch den ungehinderten Zutritt von Luft eine wesentlich geringere Erwärmung eintreten wird, andererseits aber eine höhere Erwärmung keinen Schaden anrichten kann, da brennbare Stoffe in der Regel nicht in die unmittelbare Nähe dieser Leitungen kommen. Jedenfalls wird aber auch hier die Belastung wegen des Spannungsverlustes über eine gewisse Grenze nicht hinausgehen.

30. Erwärmung und Strombelastung bei Kabeln.

Bei unterirdisch verlegten Kabeln wird, hauptsächlich aber bei Speiseleitungen, denen öfter ein grösserer Spannungsabfall gegeben wird, die Frage nach der Stromstärke, welche einen gegebenen Querschnitt höchstens durchfliessen darf, häufig aufgeworfen.

Für die ins Erdreich verlegten Kabel gelten ganz andere Abkühlungsverhältnisse als für die oberirdisch verlegten und die in der Kennellyschen Formel angegebene Konstante muss für diese Kabel einen ganz anderen Wert erhalten als für jene.[1]) Insbesondere besteht zwischen den oberirdisch und unterirdisch verlegten Leitern in Bezug auf ihre Abkühlungsverhältnisse der Unterschied, dass jene die Wärme in die sie umgebende Luft ausstrahlen, diese aber in das sie umgebende Erdreich ableiten.

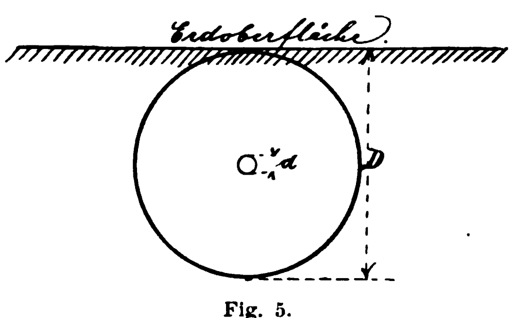


Fig. 5.

Wird mit a der geometrische Kupferdurchmesser[2]) und mit D der Durchmesser der den Leiter konzentrisch umgebenden Erdschicht bezeichnet (Fig. 5), so ist die Wärmemenge Wa, welche durch den Zylinder vom Durchmesser D geleitet wird, bei einer Temperaturdifferenz zwischen Leiter und Erdoberfläche von T^0

$$Wa = \frac{\text{Konst. } T}{\text{log. nat. } \frac{D}{a}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (15)$$

Der Durchmesser a verschwindet gegenüber dem Durchmesser D der umgebenden Erdschicht und Wa wird, wenn die Verlegungstiefe konstant ist, sich nur sehr wenig ändern, selbst wenn eine bedeutende Änderung im Kabelquerschnitt vorgenommen wird und selbst bei einer Änderung des

1) Apt, ETZ 1900, S. 613.

2) Herzog & Feldmann, Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze, S. 22.

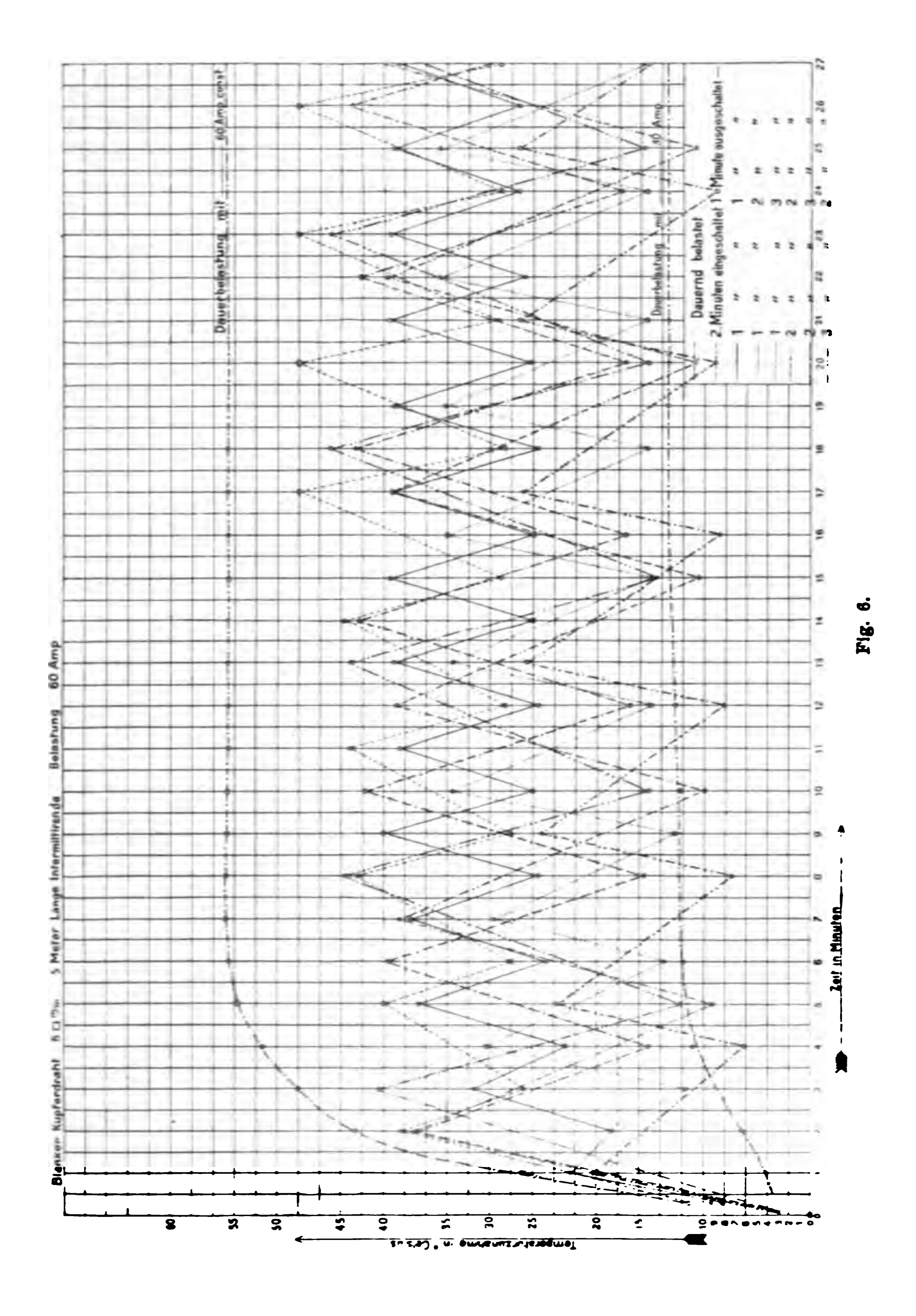

Dauerbelastung mit 60 Amp. const.
Dauernd belastet
2 Minuten eingeschaltet 1 Minute ausgeschaltet
Zeit in Minuten
Temperaturzunahme in ° Celsius

Fig. 6.

Querschnittes um das 40fache, ändert sich der Ausdruck $\frac{1}{\text{log. nat.} \frac{D}{d}}$ nur um das $1\frac{1}{2}$fache.

Da die Kabel an ihren Enden eher Gelegenheit haben Wärme abzuleiten als in der Mitte, so erreicht die Temperaturerhöhung an den Enden nicht die Werte, welche der Temperatur in der Mitte entsprechen.[1]) Auf Grund eingehender Versuche stellte Apt fest, dass für unterirdisch verlegte Kabel die Beziehung gilt:

$$q = \frac{\text{Konst.}\, J^2}{t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Die Konstante wurde für Querschnitte von 25 bis 1000 mm² und für Temperaturen bis 25° C. mit 0·016 bestimmt, so dass, wenn man eine Temperatur von 16° C. annimmt, die Formel die einfache Form annimmt

$$q = 0{\cdot}001 \cdot J^2$$

und hieraus ergeben sich für die üblichen Querschnitte von unterirdisch zu verlegenden Kabeln die in der folgenden Tabelle aufgeführten Strombelastungen.[2])

Tabelle No. 19.

$q = 25$	$J = 158$	$q = 240$	$J = 490$
35	187	310	557
50	224	400	633
70	265	500	707
95	308	625	790
120	346	800	895
150	388	1000	1000
185	430		

Apt hält es auf Grund seiner Versuche für durchaus zulässig, Kabel derart zu belasten, dass ihre Temperaturerhöhung 25° C. betrage, so dass sie insgesamt etwa 40° warm werden.

Hier sei noch erwähnt, dass Wechsel- und Drehstromkabel sich schon erwärmen können,[3]) wenn sie, ohne Energie zu übertragen, unter Spannung stehen. Die Ursache ist nicht aufgeklärt; es wird angenommen, dass entweder der Stromübergang von einem Leiter zum anderen durch die Isolierung, also eine Joulesche Wirkung oder eine Hysteresiserscheinung im Isoliermaterial selbst die Erwärmung hervorruft.

Für die an und für sich schwierigen Messungen von Verlusten durch das Isoliermaterial in Kabeln geben Rosa & Smith[4]) eine für Kondensatoren allgemein gültige Messmethode an, die auch für die in Kabeln auftretenden verwendbar ist.

Herzog & Feldmann veröffentlichten[5]) 1900 eingehende Versuche über die Erwärmung der Kabel; dieser Arbeit sind die folgenden Daten entnommen.

1) ETZ 1900, S. 783. — Linde, Exners Report 1901, S. 401. — Chermak, Sitzungsbericht der Wiener Akad. d. Wissensch., 1904.

2) Neuerdings sind eingehende Untersuchungen über die Erwärmung unterirdisch-verlegter Kabel vom städtischen Elektrizitätswerk München unter Uppenborns Leitung ausgeführt worden, deren Resultate aber erst demnächst veröffentlicht werden. Sie ergeben, dass eine höhere Belastung wie nach Tabelle No. 19 angegeben zulässig ist.

3) ETZ 1899, S. 149.

4) Physical Review, Januar 1899.

5) ETZ 1900, S. 783 ff.

Die Versuche fanden statt:

1. an einfachen und konzentrischen Kabeln in ruhender Luft;
2. an zwei Stücken eines dreifach verseilten Kabels, einmal in Luft aufgehängt, das andere Mal in die Erde eingegraben.

Die Messungen unter 1 wurden an 5 m langen, horizontal ausgespannten Kabelenden vorgenommen, die Temperatur an eingebetteten Thermometern gemessen.

Die für die unter 2 erwähnten Versuche benutzten Kabel waren einmal ein solches von 45·5 m Länge, dessen Erwärmung durch Bestimmung der Widerstandszunahme festgestellt wurde und zweitens ein solches von 950 m Länge, welches in den Erdboden eingegraben war. Durch dieses wurde Drehstrom von fast genau sinusförmigem Verlauf der Einzelwellen geschickt und die Widerstandserhöhung bezw. die Zunahme der zur Aufrechterhaltung konstanter effektiver Stromstärke erforderlichen verketteten Spannungen ermittelt, wobei das Kabel am fernen Ende kurzgeschlossen war.

1. Gleichstromkabel für 500 Volt von 10 mm² und 100 mm² Isolierung je 2·5 mm über dem aus einem bezw. 19 Drähten bestehenden Kupferleiters von 3·6 bezw. 13 mm ∅, 2 Bleimäntel, 1 Compoundschicht, 2 Armaturen aus Eisenband, noch 1 Compoundschicht. Durchmesser des Kabels $D = 16$ bezw. 32 mm.

Das Resultat der Messungen an diesen Kabeln ist in den umstehenden Kurven (Fig. 7) ersichtlich, aus denen hervorgeht, dass sich das dünne Kabel bei einer Strombelastung von 2 Amp. auf den Quadratmillimeter nur um 2° C. erwärmt, während das dicke um etwa 17·5° C. zunimmt. Bei einer Belastung von 5 Amp./mm² nahm die Erwärmung des dünnen Kabels nur um 4·5° C., die des dicken dagegen um 63·4° C. zu. Der Anfang der Kurven ist besonders herausgezeichnet (linke Kurve).

2. Konzentrische Kabel für 2000 Volt von 5 mm Isolierung unter dem Innen-, 3·5 mm über dem Aussenleiter; über der Isolierung des Innenleiters ein Bleimantel, über der des Aussenleiters deren zwei — über diesen Compoundschicht, doppelter Eisenbandmantel, eine Schicht geteerten Gespinstes.

Die Abmessungen der drei Kabel waren folgende:

2 × 10	2 × 100	2 × 220	mm² Querschnitt
3·6	13	19	mm Durchmesser des Innenleiters
13	23	29	„ „ der Isolierschicht
17·5	29	40	„ „ des Aussenleiters
24	36	47	„ „ der Isolierschicht
41	57	68	„ „ des ganzen Kabels.

Da der Innenleiter seine Wärme schwerer abgeben kann als der Aussenleiter, so wird er eine höhere Temperatur annehmen als letzterer; dies geht auch aus den nachfolgenden Versuchsresultaten hervor:

Tabelle No. 20.

Kabelquerschnitt	2 × 220			2 × 100			2 × 10		
Belastung in Amp. pro mm²	1	1·59	2·27	1	2	3	2	4	10
Temperatur des Innenleiters	6·2	13·3	26·8	5·2	11·9	28·4	5·0	11·2	60·8
„ „ Aussenleiters	4·4	9·0	18·3	4·2	8·3	20·0	3·7	8·0	37·0

3. Verseilte Dreileiterkabel von 3 × 150 mm² für 2000 Volt mit 2 Bleimänteln und 2 Eisenbandarmaturen. Gesamtdurchmesser 73 mm.

   a) Das Kabel wurde auf dem Boden des Versuchszimmers ausgelegt. Bei einer Belastung von 2·73 Amp./mm² der drei in Serie geschalteten Adern wird der stationäre Zustand nach sechs Stunden

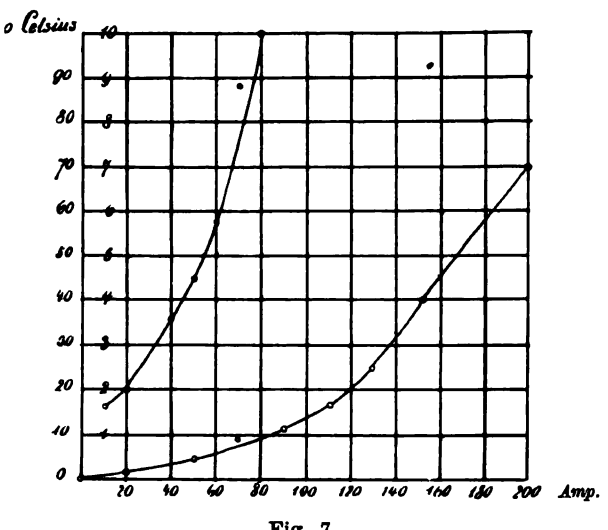


Fig. 7.

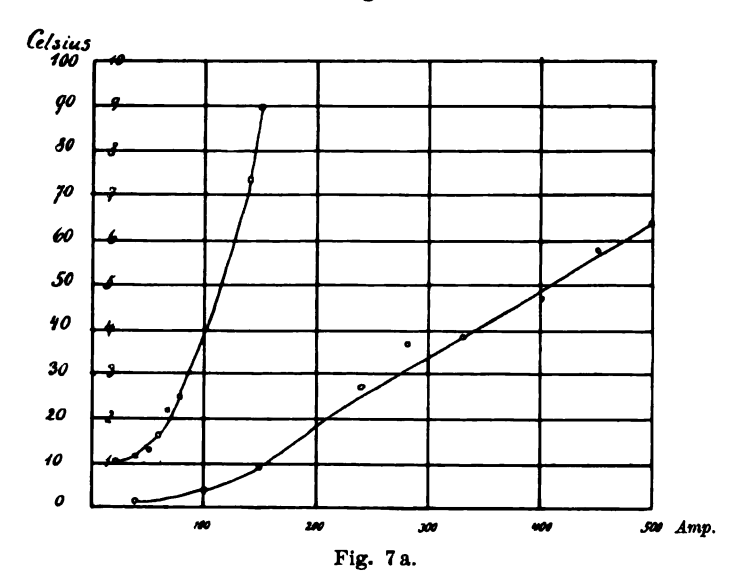


Fig. 7 a.

beinahe erreicht, nach neun Stunden eine Widerstandszunahme von 32·2 %, entsprechend einer Erwärmung um 84·5° C. gefunden.

   b) Es wird nur eine Ader mit 2·73 Amp./mm² belastet und die Widerstandszunahme dieser, wie auch der beiden anderen stromlosen Adern bestimmt. Während die stromführende Ader eine Erwärmung um 32·6° C. erfuhr, stieg die Temperatur der beiden anderen in Serie geschalteten Adern um 24·5° C.

Diese belastete Ader erwärmt sich also auf etwa ein Drittel gegen den unter a) erwähnten Versuch, während bei gleichzeitiger Belastung aller drei sich die Temperatur einer derselben als Summe der Eigentemperatur und derjenigen Temperaturerhöhung darstellt, welche sie durch jede der benachbarten Adern erfährt.

Es ergäbe sich somit eine Temperatur von

$$32{\cdot}6 + 24{\cdot}5 + 24{\cdot}5 = 81{\cdot}6^{0}\text{ C.};$$

gegenüber dem Resultat unter a) 84·5° C. also genügende Übereinstimmung.

4. Das gleiche Kabel wurde 0·73 m tief in Sand gebettet und mit Ziegeln abgedeckt.

   Bei der Belastung mit 2 Amp./mm² ergab sich eine mittlere Erwärmung von ∼ 16° C.

HERZOG & FELDMANN kommen auf Grund vorstehender Versuche zu den folgenden Schlussfolgerungen:

1. Es ist wünschenswert, dass zu allen Kabeln die Dimensionen und die physikalischen Konstanten vom Fabrikanten eines Kabels angegeben werden. Man kann dann unter Berücksichtigung der Verlegung die Erwärmungs- und Abkühlungskurven annähernd ermitteln und damit die Inanspruchnahme des Kabels nach dem zeitlichen und örtlichen Verlauf der Belastung feststellen.
2. Die von Fall zu Fall zu ermittelnde Grenze der Inanspruchnahme ergiebt sich, wenn man folgende Punkte beachtet:
   a) Die Erwärmung darf die Isoliermasse nicht schädigen. Diese Angabe macht der Lieferant. Die Temperaturgrenze liegt meist so hoch, dass sie fast nie im praktischen Betriebe erreicht werden kann.
   b) Durch die höhere Temperatur darf die Isolation nicht soweit herabsinken, dass der die Isoliermasse durchfliessende Strom schädliche Grösse erlangt.
   c) Die Erwärmung des Leiters darf nicht so stark sein, dass sie den Leitungsverlust wesentlich erhöht, da sonst Veränderungen des Regulierzwanges auftreten. 50° Erwärmung würden z. B. die Verlustspannung noch um 20 % erhöhen, 25 % Erwärmung aber nur um 10 %, was praktisch zulässig erscheint.
   d) Die Kosten eines verlegten Kabels setzen sich aus einem festen Teile A und einem vom Querschnitt f abhängigen Teile zusammen, wobei nach C. HOCHENEGG [1]) A von der Grössenordnung 2 bis 4 Mk., B etwa gleich 4 Pf. ist, wenn f in Quadratmillimeter ausgedrückt und der Preis auf den laufenden Meter Kabel bezogen wird. Es ist daher ein übermässiges Sparen im Querschnitt nicht ökonomisch, um so weniger, als die Schätzung der voraussichtlich zu erwartenden Belastung unsicher ist und im Verlauf der Zeit unregelmässige Überlastungen einzelner Stränge auftreten können. Es entspricht daher für die Praxis die Wahl einer grossen Sicherheit.

---

1) C. HOCHENEGG, Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen. II. Aufl. 1897, S. 108.

e) Die bisherige allgemeine Garantiebestimmung von 2 Amp./mm² wäre als unbezeichnend und ungerechtfertigt fallen zu lassen, weil sie den thatsächlichen Verhältnissen zu wenig Rechnung trägt.

f) Betragen die Spannungen 10000 Volt und mehr oder ist die Polwechselzahl abnormal hoch, so treten noch besondere Umstände hinzu. Im ersteren Falle ist die dielektrische Hysteresis,[1]) im letzteren die Hysteresis und der Wirbelstromverlust in Blei- und Eisenmänteln zu berücksichtigen.

g) Sind die Kabel im fliessenden Wasser oder bewegter Luft verlegt, so sind die Abkühlungsverhältnisse günstiger als bei der Verlegung im Erdboden oder in ruhender Luft.

Die Widerstandsfähigkeit der Isoliermittel gegen Durchschlagen.

31. Spezifischer Widerstand. Wird ein Dielektrikum einer höheren Spannung ausgesetzt, so tritt bei einer bestimmten Spannung ein Durchschlag ein. Derselbe ist unabhängig vom Leitungswiderstand, aber abhängig von Natur und Dicke des betreffenden Materiales.[2]) Für die Begutachtung von Isoliermaterialien wurden zumeist Messungen des Isolationswiderstandes vorgenommen, die verhältnismässig viel Zeit in Anspruch nehmen und auch dann nur genauere Resultate liefern, wenn die Oberflächenströme abgefangen werden. Für eine grössere Anzahl von Isoliermaterialien wurden die spezifischen Widerstände im Städtischen Laboratorium zu München unter Beobachtung des vorher Gesagten bestimmt;[3]) vgl. S. 35.

Tabelle No. 21.[4])

Schlagweite (S in mm) in der Luft für die verschiedenen Wechselspannungen bei 100 Polwechseln. E in Kilovolt.

E	S_1	S_2	S_3	S_4	Bemerkungen
1	0·3	0·4	0·3	0·25	S_1 = Elektroden: Spitzen
2	0·8	1	0·9	0·52	S_2 = Elektroden: Kugeln von 25 mm Durchmesser
3	1·2	1·5	1·6	0·9	S_3 = Elektroden: Platten
4	1·7	2	2	1·3	S_4 = Blitzschutzvorrichtung der A. E. G. Berlin
5	1·9	2·6	3	1·7	
10	6·2	5·5	7	4·3	
15	13	8·6	13	7·2	
20	22	8·9	21	10·3	
25	33	10·7	29·5	13·5	
30	47	13·2	39·5	16·8	
40	76·5	18·4	71·0	—	
50	106	32	—	—	
60	—	54·3	—	—	
80	—	133	—	—	

1) Es wird selbst dann Energie verbraucht, wenn das Kabel nur unter Spannung steht. Siehe ETZ 1899, S. 149; vgl. Hdb. VI, 1 S. 37.

2) Steinmetz, ETZ 1893, S. 248.

3) Uppenborn, Kalender 1904, S. 146.

4) Uppenborn, Kalender 1904, S. 149; vgl. ferner Steinmetz, ETZ 1893, S. 250 u. S. 252 (Funkenschlagweiten in Luft; ausführliche Tabelle nach 11 Beobachtern).

Tabelle No. 22.[1])

Funkenentladung durch Vulkanfiber.

Maximale Spannung in Volt	Stärke des Materials Funkenschlagweite in mm
2 200	0·58
8 800	2·28
10 100	3·17
14 900	5·40
22 500	12·80

Tabelle No. 23.

Funkenentladung durch geschmolzenes Paraffin 60° — 70° C.

Maximale Spannung in Volt	Funkenschlagweite in mm
3 900	0·5
7 600	1·0
13 500	1·5
16 300	2·0
18 000	2·5
27 100	3·0

Tabelle No. 24.

Funkenentladung durch Glimmer.

Maximale Spannung in Volt	Dicke des Materials Funkenschlagweite in mm
800	0·003
4 800	0·015
6 040	0·020
6 550	0·0222
7 180	0·0244
8 650	0·0325
9 660	0·0360
11 100	0·045
12 900	0·055
16 500	0·080
20 300	0·118

Tabelle No. 25.

Funkenentladung durch paraffiniertes Papier.

Maximale Spannung in Volt	Dicke des Materials Funkenschlagweite in mm
6 900	0·21
9 600	0·25
15 600	0·50
24 800	0·75

Tabelle No. 26.

Funkenentladung durch trockene Holzfaser (Holzpapier).

Maximale Spannung in Volt	Dicke des Materials Funkenschlagweite in mm
2 800	0·24
5 800	0·44
8 800	0·66
21 600	1·69

32. Durchschlagsversuche.

Bei der Beanspruchung der Isoliermaterialien durch Spannung, welche so lange gesteigert wird, bis der Durchschlag erfolgt, werden gute praktische Werte zur Beurteilung des Materiales gewonnen. Bei der Vornahme des Versuches wird auf Spitzendurchschläge verzichtet, da sie nur lokale Werte ergeben. Die zu untersuchenden Isoliermaterialien werden zwischen metallene Platten gelegt, die aber nicht zu gross sein dürfen, um Randentladungen zu vermeiden.

Im Moment des Durchschlages ändert sich das Dielektrikum, der Widerstand sinkt auf einen überaus geringen Wert, während gleichzeitig eine erhebliche Erwärmung des Materiales nachzuweisen ist.

Entsprechende Versuche müssen bei verschiedenem Zustande der Isoliermaterialien vorgenommen werden, nämlich im feuchten, warmen, trockenen.

Die Tabellen No. 21 — 28 zeigen die Durchschlagswerte einiger viel verwendeter Dielektrika. Da bei allen Apparaten u. s. w. auch Luft als

1) Steinmetz, ETZ 1893, S. 251.

Isoliermittel in Betracht kommt, so werden auch für diese die Schlagweiten bei verschiedenen Spannungen angegeben.

Weitere Tabellen finden sich ETZ 1893, Seite 251, für

gekochtes Leinöl,	Kopalfirnis,	Vulkabeston,
Terpentinöl,	rohes Schmieröl,	Asbestpapier.

Tabelle No. 27.

Widerstand der Isolatoren gegen Durchschlagen.

Schlagweite von 20000 Volt Wechselstrom.

(Von den Land- und Seekabelwerken mitgeteilt.)

Mit einem Wechselstrom von 20000 Volt wurden durchschlagen					
Luft	34·0	mm	Isolieröl für Transformat.	2·0	mm
Dicköl	9·64	„	Steinkohlenparaffin . . .	2·2	„
Kabel-Imprägniermasse .	0·2	„	Muffenausgussmasse . .	0·44	„
Zeresin	0·65	„	Leinöl	7·5	„
Ozokerit	0·65	„	Stearinpech	8·0	„
Bienenwachs	0·25	„	Guttapercha	0·34	„
Paraffin	0·5	„	Nicht vulkanis. Gummi .	0·85	„
Venez. Terpentin . . .	0·5	„	Vulkanisierter Gummi. .	1·2	„

Tabelle No. 28.

Durchschlagsspannungen zwischen Platten nach Holitscher.[1])

Material	Dicke in mm	Durchschlagsspannung in Volt	
		kalt	warm
Weisser Marmor	18	25 000	—
Roter Marmor	18	13 500	—
Schiefer	18	9 000	—
Presspan	1	11 — 22 000	8 — 20 000
Mikanit	1	24 000	22 500
Linoleum	3·5 — 40	8 — 20 000	—

33. Widerstand der Luft.

Für niedere Spannungen kann der Widerstand der atmosphärischen Luft als unendlich betrachtet werden. Bei ungefähr 3800 Volt besitzt sie für Gleichstrom schon eine merkliche Leitungsfähigkeit, welche mit zunehmender Spannung schnell wächst. Ausserdem ist die Leitungsfähigkeit (Jonenwanderung) von der Dichtigkeit abhängig und erreicht bei einem Druck von ungefähr 1 mm ihren grössten Wert, wie nachstehende Tabelle zeigt. Nach Kelvin werden 56 Mikroamperes erzeugt

bei	750	44	7	0·5	0·045	0·018 mm
von	7400	1090	700	370	405	570 Volt,

bei $2 \cdot 10^{-7}$ mm erzeugten 8000 Volt nur 14·6 Mikroampere. Bei Wechselstrom tritt eine merkliche Leitfähigkeit der Luft erst bei bedeutend höheren Spannungen auf. (Wichtig für Elektrometermessungen.)

1) ETZ 1902, S. 170.

Tabelle No. 29.

Spezifischer Widerstand der Isolatoren nach einer Elektrisierung von mehreren Minuten.

(Städtisches Laboratorium München.)

Bei der Messung wurden Oberflächenströme vor dem Galvanometer abgefangen.

Die Elektroden bestanden aus Quecksilber.

Material	Megohm cm	Spannung	Volt für 1 mm Dicke	Luft-temperatur ° C.	Luft-feuchtigkeit %
Celluloid weiss, undurchsichtig	79 000	1020	2 040	16	70
	75 000	1500	3 000	16	70
	71 000	1975	3 960	16	70
Gentzsche Isoliermasse von Felten-Guilleaume	$600 \cdot 10^6$	1010	316	19	48
	$325 \cdot 10^6$	1720	3 380	17	70
	$80 \cdot 10^6$	2000	3 930	17	80
Glas (Fenster-)	$8{\cdot}6 \cdot 10^6$	1010	405	19	48
	$6{\cdot}6 \cdot 10^6$	1725	690	17	70
Glimmer	$2{\cdot}3 \cdot 10^6$	1010	4 000	19	48
Kautschuktuch	$1\,130 \cdot 10^6$	630	6 600	17	80
	$800 \cdot 10^6$	1000	10 500	17	80
	$210 \cdot 10^6$	2000	21 000	17	80
Guttapercha	$450 \cdot 10^6$	—	—	—	—
Hartgummi	$4\,200 \cdot 10^6$	1010	540	19	48
	$3\,600 \cdot 10^6$	1715	910	17	70
Holzkohle	$0{\cdot}26 \cdot 10^6$	1010	215	19	48
Linoleum	$1{\cdot}3 \cdot 10^6$	1000	286	16	70
	$1{\cdot}0 \cdot 10^6$	2000	572	16	70
Marmor	510	1010	33·7	16	70
	495	1510	50·4	16	70
	435	1990	66·5	16	70
Mikanit (schellackarm)	$6\,500 \cdot 10^6$	1010	1 250	19	48
Okonit	$640 \cdot 10^6$	1510	1 425	16	70
	$620 \cdot 10^6$	1990	1 880	16	70
Paraffin	$3\,900 \cdot 10^6$	1740	435	17	70
	$240 \cdot 10^6$	2000	2 860	17	80
Pressspan	11 000	1010	940	19	48
Schiefer	0·78	1000	40	16	70
I. Probe	0·69	1500	60	16	70
	0·63	1985	79·5	16	70
II. Probe	12·5	1005	366	16	70
	2·3	1503	547	16	70
Stabilit[1]	$24 \cdot 10^6$	1010	361	19	48
Sterlingfirnis	$33 \cdot 10^6$	622	7 150	16	70
	$26{\cdot}6 \cdot 10^6$	1010	10 700	16	70
	$22{\cdot}9 \cdot 10^6$	1500	14 100	16	70
	$20{\cdot}4 \cdot 10^6$	1970		16	70
Thon (gebrannt ohne Glasur)	13 000	1010	92	19	48
Vulkanfiber	53	1010	371	19	48

1) Abhängig vom Gehalt an Kautschuk.

Tabelle No. 30.

Spezifischer Widerstand flüssiger Isolatoren (Edison).

(Variiert stark mit der chemischen Zusammensetzung.)

Bei 18° C.	Megohm-cm
Holzteer	1 700 000 000
Rohes Ozokerit	450 000 000
Stearinsäure	350 000 000
Paraffinwachs	110 000 000
Benzin	14 000 000
Schweres Paraffinöl	8 000 000
Olivenöl	1 000 000
Benzol	1 300

34. Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen.

Wenn auch die meist gebräuchlichen Isoliermittel eine hohe Isolierfähigkeit besitzen und dieselbe auch bei den der Verarbeitung vorausgehenden Prüfungen festgestellt wird, so ist damit noch nicht gesagt, dass damit isolierte Leitungen eine gleich hohe Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen besitzen; z. B. erträgt ein Paragummiband von 0·23 mm Stärke circa 2000 Volt,

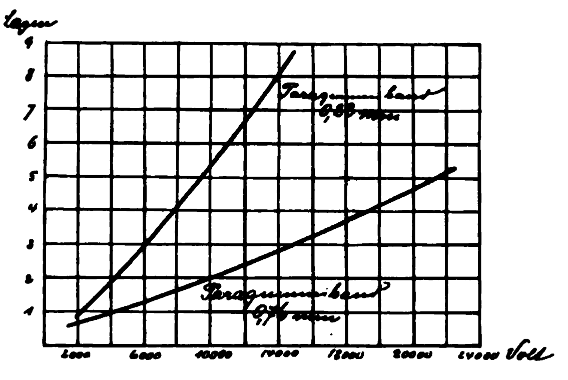


Fig. 8.

in 8 Lagen circa 14 000 Volt (siehe Fig. 8), trotzdem wird ein mit diesem Bande isoliertes Kabel sicher bei viel geringeren Spannungen durchschlagen, weil bei der grösseren Länge Schmutz, Metallteilchen oder Feuchtigkeit an einzelnen Stellen vorkommen können, die dann die Isolierfähigkeit des ganzen Kabels bezw. des betroffenen Teiles wesentlich herabsetzen.

Die Durchschlagsfähigkeit dünner Schichten giebt ferner noch keinen genügenden Anhalt, dass das betreffende Material auch in stärkeren Schichten in gleichem Verhältnis den höheren Spannungen widersteht. Meistens nimmt die dielektrische Kraft bei zunehmender Stärke ab, wie auch beim Paragummi aus den Kurven (Fig. 8) erkennbar. Unter der Annahme gleicher Beanspruchung des Dielektrikum muss, je höher die Spannung gewählt wird, die Stärke der Isolierung und somit auch die Kosten erheblich schneller anwachsen als die Spannung. Beispielsweise würde ein Kabel, welches bei einer Spannung von 10 000 Volt einer Jute-Isolierung von 12·7 mm bedarf, bei 20 000 Volt eine Isolierschicht von 48·2 mm und bei 30 000 Volt sogar

von 134·5 mm bei gleicher Beanspruchung des Materials haben müssen. Eine derartige Konstruktion ist aber praktisch unmöglich, und es wird daher ein besseres Dielektrikum und eventuell eine höhere Beanspruchung des Materials stattfinden müssen.

Diesem Übelstande wird durch die Wahl anderer Isolierstoffe abgeholfen, und zwar eignet sich in erster Linie Papier, welches in mehreren Lagen oder abwechselnd mit Jutelagen verwendet wird, zur Fabrikation von Kabeln für höhere Spannungen.

35. Leitungskosten im Verhältnis zu den Kupferkosten.

Die Leitungskosten, hauptsächlich aber die Kosten ausgedehnter Kabelnetze, sind wesentliche Faktoren bei der Wahl des Systems und der Spannung, es wird jedoch selten berücksichtigt, dass der Wert des Kupfers bei Kabeln für niedrige Spannungen immer noch einen grossen Prozentsatz (bis zu 70 %) des ursprünglichen Kabelwertes aufweist, wenn im Laufe der Zeit die Isolierung und somit das Kabel unbrauchbar geworden; bei Hochspannungskabeln dagegen sind diese Werte naturgemäss ganz wesentlich geringer.

Dielektrische Hysteresis.

36. Dielektrikum unter Wechselstrom.

Wird ein Dielektrikum in Form eines Kabels oder überhaupt eines Kondensators im allgemeinen einem Wechselstrom ausgesetzt, so wird sich die Ladung beständig ändern, da sie der Spannung proportional ist. Der Ladungsstrom ist um 90° gegen die EMK des Generators verschoben. Seine Grösse bestimmt sich nach der bekannten Formel zu

$$J = 2 n \pi E C 10^{-6}, \quad \ldots \ldots \quad (17)$$

wenn mit n die Periodenzahl bezeichnet ist.

Dieser Strom leistet indessen keine Arbeit, ebensowenig wie der aus den Wirkungen der Selbstinduktion resultierende. Der Ladungsstrom eilt um 90° vor, dieser bleibt um 90° zurück, so dass die Resultierende sich aus der Differenz (richtiger aus der vektoriellen Differenz) ergiebt.

Durch die beständige Änderung des elektrischen Zustandes im Dielektrikum wird Arbeit geleistet, die sich zum Teil in Wärme umsetzt. Da die Vorgänge im Dielektrikum ähnliche sind, wie sie bei der Magnetisierung des Eisens auftreten, werden sie nach Steinmetz dielektrische Hysteresis genannt.

Kleiner[1]) bestimmte die durch intermittierende Ladung im Dielektrikum entstehende Temperaturerhöhung mittels Thermoelementen. Als Vergleichswert bezeichnet mit 1 die in einer Ebonitplatte zwischen kreisförmigen Staniolbelegungen nach einer bestimmten Anzahl von Ladungen und Entladungen auftretende Wärmemenge, so entsprachen Platten von gleicher Dicke und gleicher elektrischer Behandlung

bei Paraffin	0
Kolophonium	0
Glimmer	0·28
Wachs	0·6
Glas	0·74
Guttapercha	0·76
Kautschuk	1·41

1) Wiedemanns Annalen 1893 S. 138.

MORDEY[1]) bestimmte die vom Dielektrikum aufgenommene Arbeit zu 12·4 % von den aus dem Produkt von Ladestrom und Spannung erhaltenen Watt.

Die scheinbare Leistung wurde bestimmt nach der Formel

$$EJ = 2 n \pi E^2 C \, 10^{-6},$$

die wirkliche mit Hilfe eines Wattmeters.

Der Leistungsfaktor von 0·124 wird vielfach als zu hoch angegeben bezeichnet, u. a. von ROSA und SMITH.[2])

CHARLES EDWARD SKINNER stellte über die dielektrische Hysteresis eine Reihe von Versuchen an, denen das Folgende auszugsweise entnommen wird.[3])

37. Art der Messung.

Das untersuchte Material war Papier und Leinewand mit oder ohne Isolierlack behandelt, wie es in der Fabrikation verwendet wird, und zwar in Form quadratischer Scheiben von circa 23 cm Seitenlänge, gut abgerundeter Ecken und einer Stärke von 3 bis 7 mm. Die zu prüfenden Scheiben wurden zwischen Metallplatten gelegt, die an einen Transformator angeschlossen waren. Es wurde Wechselstrom von 25, 60 und 133 Perioden mit einer Spannung bis zu 100 000 Volt verwendet.

Zur Temperaturmessung wurden Thermoelemente an verschiedenen Stellen der Probe genommen.

Die Energiemessung erfolgte anfangs mit Kalorimetern, dann mit einem statischen Wattmeter, welches für diesen Zweck besonders konstruiert werden musste, da ein gewöhnliches Wattmeter wegen der kleinen Energiemengen nicht verwendbar war.

Die Versuchsresultate waren die folgenden:

38. Änderung der Temperatur mit der Spannung.

Bei mässiger Spannung steigt die Temperatur des Materials zuerst rasch, dann langsamer, um schliesslich konstant zu bleiben. Mit zunehmender Spannung erfolgt nicht mehr genügende Wärmeableitung, das Material verkohlt und die Spannung schlägt durch. In weniger sorgfältig hergestelltem Material, besonders bei grossen Flächen, die mit Isolierlack behandelt sind, tritt ungleichmässige Erwärmung auf und der Durchschlag erfolgt dort, wo die grösste Wärmeentwickelung war. Je besser die Wärmeableitung ist, desto höher fällt die Durchschlagsspannung aus. Kurz vor dem Durchschlag war die gemessene Temperatur gewöhnlich 175° C. oder mehr.

39. Abhängigkeit des Verlustes von der Änderung der Temperatur.

Der Energieverlust steigt mit der Temperatur, jedoch schneller als diese und seine Grösse ist abhängig von Art und Beschaffenheit des Materials. Ist an einem Punkte eine grössere Erwärmung erfolgt, dann nimmt der Verlust rasch zu, bis die Temperatur so hoch wird, dass das Material verkohlt und der Durchschlag erfolgt, dann ist der Verlust bis auf 0·3 Watt pro Kubikcentimeter gestiegen.

40. Abhängigkeit des Verlustes von der Spannung.

Bleibt die Temperatur bei der Probe konstant, so erwartet man, dass der Verlust mit dem Quadrat der zugeführten Spannung steigt. Praktisch tritt jedoch mit zunehmender Spannung auch eine Temperatursteigerung im Isolationsmaterial auf, wodurch eine weitere Zunahme des Verlustes bedingt ist, weil bei gleichbleibender Spannung der Verlust mit der Temperatur steigt.

---

1) Journ. Inst. El. Eng. 1901 S. 363.

2) Phys. Rev. 1899.

3) Berichtet in der Jahresversammlung des American Institute of Electrical Engineers. ETZ 1902, S. 913. Über Energieverlust in Dielektriken vgl. auch MERCANTON, ETZ 1902, S. 348.

41. Abhängigkeit des Energieverlustes von der Frequenz.

Ein einwandsfreies Resultat konnte bei den Versuchen nicht erzielt werden, da es nur möglich war, mit 25, 60 oder 133 Perioden zu arbeiten, doch ist wahrscheinlich, dass der Verlust der Quadratwurzel aus der Frequenz proportional ist.

Die Isoliermaterialien für Leitungen.

42. Isoliermittel aus dem Pflanzen- und Tierreich.

Alle Isolierstoffe, welche für die Fabrikation von Leitungen in Betracht kommen, gehören dem Pflanzenreiche, seltener dem Tierreiche an, während für die Isolierung von Apparaten auch vielfach Vertreter des Mineralreiches Verwendung finden.

Die ersteren, welche wir zuerst betrachten wollen, können in zwei Hauptgruppen geteilt werden. Die eine besteht aus Pflanzenfasern und tierischen Gespinsten, welche Feuchtigkeit in reichlichem Masse aufnehmen, die andere dagegen aus Pflanzensäften, die entweder gar nicht oder doch nur wenig zur Aufnahme von Feuchtigkeit neigen.

Die zur ersten Gruppe gehörigen Materialien genügen daher an sich nicht zur Isolierung, müssen vielmehr erst durch Behandlung mit Isolierstoffen der zweiten Gruppe im flüssigen, meistens heissen Zustand, und eventuell auch noch durch einen dicht schliessenden metallenen Überzug (Bleimantel) vor Feuchtigkeit geschützt werden.

Isoliermaterialien der ersten Gruppe sind:

Baumwolle, Flachs, Hanf, Jute, Papier, Seide u. s. w.,

der zweiten Gruppe:

Guttapercha, Kautschuk, Harze, Ozokerit, Fette, Öle u. s. w.

Die zuletzt genannten Stoffe werden aber auch mehrfach miteinander vermischt verwendet; so ist beispielsweise die von CHATTERTON angegebene, aus 65 Teilen Guttapercha, 10 Teilen Holzteer und 25 Teilen Harz (Kolophonium) bestehende Compoundmasse ein sehr gutes Isoliermittel. Unter der Bezeichnung Kerit wird eine Mischung von Erdwachs (Ozokerit, Okonit), Leinöl und vulkanisiertem Kautschuk vertrieben.

43. Preise der Isoliermittel.

Im folgenden sind als Vergleichswerte die Preise[1]) der wichtigsten Isolierstoffe, welche für die Fabrikation von Leitungen und Kabel in Betracht kommen, in Mark pro 1000 kg angegeben:

Guttapercha	2000—6000[2])	Harz	120
Para-Gummi	8000	Mineralöl	90
Kongo-Gummi	6000	Pech	40·5
Celluloid	4000	Trinidad-Harz	—
Bernsteinöl, Schmelzpunkt 40° C.	520	Stearin	100·3
Konsistentes Fett, Schmelzpunkt 46 bis 48° C.	660	Ricinusöl	—
Raffiniertes Baumwollenöl	325	Gute ägyptische Baumwolle	1300
Oxydiertes Baumwollenöl, fast steif	520	Gutes Leinengarn, ungebleicht	1300
Dickflüssiges Harzöl	225	Feines Manilapapier	950
Gewöhnliches Harzöl	120	Beste Jute	600
		Holzfaserpapier	330

1) Diese Preise sollen naturgemäss nur einen ungefähren Vergleich zwischen den einzelnen Isoliermaterialien gestatten, stellen ungefähre Mittelwerte dar. Sie unterliegen naturgemäss grossen Schwankungen.

2) Vgl. S. 42.

44. Allgemeine Betrachtungen über die Verwendung einiger Isoliermaterialien.

Von diesen eignen sich Jute und Manilapapier am besten als Dielektrikum, da ihre Kapazität nicht plötzlich ansteigt und die Isolation nicht zu schnell sinkt.

Der Gummi wird meistens durch andere Substanzen versetzt, um die Preise der Leitungen nicht zu hoch werden zu lassen; trotz der Vermischung, durch die dem Gummi häufig 40 bis 60 % Beimengungen gegeben werden, werden bei geeigneter Wahl derselben und richtigem Verhältnis brauchbare, gut isolierende Dielektrika gewonnen. Diese Mischungen, die wohl in jeder Fabrik anders hergestellt werden, sind zumeist Fabrikgeheimnis.

Sind die Beimengungen zum Gummi jedoch zu gross, so wird er entweder bald zerstört, oder wird hygroskopisch, da der Gummi dann die Beimengungen nicht völlig umschliesst.

Bei Kabeln und Leitungen, bei denen der Leiter mit einer nahtlosen Schicht von Gummi umgeben wird, wird derselbe häufig aus mehreren Schichten zusammengesetzt, deren erste aus reinem, meistens unvulkanisiertem, deren folgende aus weniger gutem Gummi bestehen. Entweder geschehen diese Anordnungen, um zu sparen, oder aber auch um stark vulkanisierten Gummi nicht mit dem Kupferleiter in Berührung kommen zu lassen, da bei der Berührung des zur Vulkanisierung verwendeten Schwefels mit dem Leiter sich Schwefelkupfer bildet, wodurch der Querschnitt vermindert würde. Derartige Materialabstufungen müssen aber so hergestellt werden, dass sie möglichst allmählich ineinander übergehen, um zu hohe Kapazitäten zu vermeiden.

Da bei der Kabelfabrikation die Materialkosten 10- bis 18 mal so hoch sind, als die Arbeitslöhne, so muss sowohl beim Einkauf als auch bei der Prüfung der Rohmaterialien so vorsichtig wie möglich verfahren werden. Diese Prüfungen können aber nur selten mit der ihnen gebührenden Sorgfalt ausgeführt werden, sind zum Teil auch überaus schwierig, wie z. B. die Untersuchung von Gummi und Guttapercha.

Ferner wird eine möglichste Ausnützung derselben unbedingt erforderlich, um die Preise nicht allzu hoch zu treiben. Dieselben sind im wesentlichen von den äusseren Durchmessern der Kabel abhängig, infolgedessen müssen Isoliermaterialien verwendet werden, die in möglichst dünnen Schichten Verwendung finden können, dabei aber doch gegen das Durchschlagen eine hohe Widerstandsfähigkeit haben. Hauptsächlich gilt dies von Hochspannungskabeln, bei denen geringe Kupferquerschnitte, dagegen starke Isolierschichten vorkommen.

Guttapercha.[1])

45. Geschichtliches und Arten der Gutta liefernden Pflanzen.

Die Guttapercha (1843 zuerst durch MONTGOMERIE[2]) nach Europa gebracht) findet sich im Milchsaft (latea) einer grossen Zahl tropischer Bäume und Sträucher. Dieser Milchsaft ist in den Zellen der tieferen Rinde, im

1) Nach einer Zusammenstellung von FEYERABEND, ETZ 1900, S. 134. Als Quellen haben insbesondere gedient: Cantor lectures on Gutta Percha, von Dr. EUGENE, F. A. OBACH, London 1898. — Gummi, Guttapercha und Balata, von FRANZ CLOUTH, Leipzig 1898. — Submarine Telegraphs, von CHARLES BRIGHT, London 1898. Vgl. ferner: DINGLERS Journal 108, S. 388, HEINZERLING, Fabrikation der Kautschuk- und Guttaperchawaren, Braunschweig 1883; HOFFA, Kautschuk und Guttapercha, Wien 1892.

2) POGGENDORFFS Annalen 74, S. 157.

Mark der Zweige und in den Blättern enthalten, und zwar bei den Guttaperchagewächsen, welche meist zu der Pflanzengruppe der Sapotaceen gehören. Unter deren zahlreichen Arten sind die zur Gattung der Dichopsis (auch Palaquium oder Isonandra) gehörenden die zahlreichsten und besten Guttaperchapflanzen.

Am wichtigsten sind:

1. Dichopsis gutta (Palaquium gutta, Isonandra gutta) stammt aus Singapore, hat anscheinend die erste und beste Guttapercha geliefert; die Ausbeute hat aber wegen Seltenheit der Bäume aufgehört;
2. Dichopsis oblongifolia (Pal. obl., Jon. obl., Mayang) existiert auf Sumatra, Borneo, Malakka, Perak; Abarten sind Dichopsis oder Palaquium Borneense (Borneo), Dichopsis Treubii und parvifolia (Banca), Dichopsis pustulata (Ceylon).

Zu der Gattung Payena gehören:

3. Payena Cerii, Heimat wie vorstehend, erreicht jedoch nicht die Güte der unter 2. genannten, wird ihr aber beigemischt.

Von den Bassia-Arten:

4. Bassia Parkii (Afrika) ist bis jetzt wenig ausgebeutet.

Geringere Sorten von Guttapercha erscheinen in einer grossen Anzahl anderer, noch wenig untersuchter Gewächse. Die verwendbaren Guttaperchagewächse gedeihen nur zwischen dem fünften Grad nördlicher und dem dritten Grad südlicher Breite; die in anderen Breitegraden vorkommenden sind minderwertig und deren Ertrag gering.

Guttapercha besteht aus etwa 80 % Gutta ($C_{10}H_{16}$) und zwei Oxydationsprodukten dieses Kohlenwasserstoffes, dem Fluavil ($C_{10}H_{16}O$) und dem Alban ($C_{20}H_{32}O$).

46. Art der Gewinnung. Die Art der Gewinnung ist je nach der Gegend verschieden. Auf Sumatra fällen die Eingeborenen die Guttaperchabäume, schneiden in die Rinde in Abständen von 30 bis 40 cm Kerben ein und sammeln den hervorquellenden Milchsaft, welcher im geronnenen (breiigen) Zustande vor dem Erstarren durch Erhitzen in Hütten zu grossen Broten geknetet wird. Bei dem Erhitzen werden der Masse kleine Rinden- und Holzstücke, sowie trockene Blätter beigemischt, wodurch die Guttapercha eine rote bis braune Färbung erhält.

Ein Baum liefert ca. 0·5 bis 3·0 kg Saft, soll aber nach anderen Angaben sogar bis 15 kg[1]) und mehr abgeben. Bei der Anwendung dieser Gewinnungsart ist aber die Gefahr einer völligen Ausrottung der nutzbaren Bäume zu befürchten. Man lernte bald, dass die Guttapercha bei einiger Vorsicht auch aus dem lebenden Baum gewonnen werden kann, wodurch naturgemäss die Produktion jedes Stammes bedeutend erhöht wurde.

Auf die Guttaperchagewinnung aus Blättern ist weiter unten hingewiesen.

47. Guttaperchasorten. Nach Obach unterscheidet man die in den Handel kommenden Guttaperchaarten in vier Hauptgruppen:

1. „Erste Sorten“, und zwar Guttapercha von Dichopsis, besonders von Dich. obl. mit den Arten „Pahang“ von der malayischen Halbinsel, „Bulongan rot“ von Borneo und „Banjer rot“ von Borneo;

1) Muspratt, Techn. Chemie, III. Bd., S. 1662.

2. „Soondie" von der Payena-Species, und zwar „Bagan goolie" von Borneo, „Goolie soondie rot" auch „Kotaringin goolie soondie" von Borneo und „Serapong goolie soondie" von Sumatra;
3. Weisse Guttapercha von unbekannten Baumarten auf Borneo, wohl u. a. von Dichopsis polyantha oder pustulata und Payena-Arten;
4. Gemischte Sorten von Borneo (Sarawak), Sumatra (Padang) und Banca.

48. Einfuhr und Preise.

Die rohe Guttapercha gelangt fast gänzlich nach Singapore als Hauptstapelplatz, von wo fast zwei Drittel nach London und Liverpool, der Rest hauptsächlich nach Marseille, Rotterdam und Hamburg geht. In England verbleibt ungefähr drei Viertel der Gesamteinfuhr, während nur ca. ein Viertel in andere Länder ausgeführt wird.

Im Jahre 1897 stellten sich die Preise für die gebräuchlichsten Marken folgendermassen: [1])

Pahang (erstklassige Marke von der malayischen Halbinsel und auch anderer Herkunft). . . .	100 kg	Mk.	844.—
Bagan soondie (Borneo)	„	„	582.—
Banjer rot (Borneo)	„	„	563.—
Serapong (Sumatra)	„	„	431.—
Bulongan weiss (Borneo)	„	„	206.—
Banjer weiss (Borneo)	„	„	206.—

Die rohe Handelsware ist mit ca. 15 % fester Verunreinigung vermischt (Holz, Erde, Rinde, Steine u. s. w.) und enthält ca. 30 Gewichtsteile Wasser. Die besten Guttaperchasorten haben den geringsten Harzgehalt und grössere Bestandteile Gutta.

49. Reinigung der Guttapercha.[2])

Für die fabrikmässige Verarbeitung ist eine gehörige Reinigung der Guttapercha, Verminderung des Wassergehaltes und Beseitigung der Luftblasen erforderlich. Zu diesem Zwecke werden die rohen Blöcke oder Brote in Scheiben zerschnitten und dann auf einer messerbesetzten Trommel weiter zerkleinert. Die zerkleinerte Masse kommt dann in kaltes Wasser, wo sich die schwereren Beimischungen von der schwimmenden Guttapercha trennen. Diese kommt dann in heisses Wasser, erweicht und ballt sich wieder zu einer plastischen Masse zusammen. In dieser Form eignet sich die Guttapercha schon zur Herstellung zahlreicher technischer Gegenstände, muss aber zur Kabelfabrikation noch eine weitere Reinigung erfahren.

Diese wird dadurch erreicht, dass die Masse in einer Waschmaschine mit heissem Wasser durch umlaufende Walzen mit sternförmigem Querschnitt gequetscht wird, wobei Verunreinigungen zu Boden fallen. Der gleiche Zweck wird auch durch Hindurchpressen der Masse durch feinmaschige Siebe erreicht. In einer geheizten Trockenknetmaschine mit ebenfalls umlaufenden runden Walzen erfolgt dann eine weitere Durcharbeitung, wobei das in der Masse enthaltende Wasser in Dampfform entweicht. Die nun ganz homogene, luft- und fast wasserfreie Masse, die auf 50 bis 85 % des ursprünglichen Gewichtes des Rohmaterials zurückgegangen ist, wird schliesslich durch

1) Die Preise sind nur zum Vergleich der angegebenen Arten zu einander angegeben, massgebend sind dieselben zur Zeit nicht, unterliegen auch grossen Schwankungen.

2) Vgl. auch: Mehrere Verfahren zur Erzeugung von Kautschuk und Guttapercha. GUBER, El. Paris, Ser. 2, Bd. 23, S. 397.

zylindrische Walzen (Fig. 9) in Platten von etwa 6 mm Stärke gewalzt, welche nach dem Erhärten zerschnitten werden.

Die näheren Einrichtungen der einzelnen Maschinen sind in den anfangs bemerkten Werken von OBACH und BRIGHT beschrieben.

Zur Reinigung der Guttapercha wird auch fünfprozentige Natronlauge mit Vorteil verwandt, und zwar bei Sorten, die sich nicht leicht von ihren Nebenbestandteilen trennen lassen. Man muss jedoch bei Waschungen mit alkalischen Laugen u. s. w. sehr sorgfältig und vorsichtig zu Werke gehen und eine gründliche Waschung mit Wasser nachfolgen lassen, da sonst später zerstörende Einwirkungen auf die Gutta zu befürchten sind.

Vielfach wird auch das Rohmaterial in Schwefelkohlenstoff gelöst, die Lösung filtriert und durch Verdampfung des Lösungsmittels die Guttapercha wieder gewonnen, doch ist das so gewonnene Material, wenn es auch anfänglich gut aussieht, wenig dauerhaft, anscheinend infolge molekularer Veränderungen während der Verdampfungsperiode.

Um dem Material möglichst viele Bestandteile Gutta, geringere an Harz zu erhalten, wird das Harz durch chemische Mittel entfernt. Dazu wird Schwefeläther, gesättigte Lösung von Schwefelkohlenstoff in Alkohol, oder, nach OBACH, auch Petroleumäther (Lython, Rigolin, Gasolin) angewendet. Die dann blassrote Guttapercha steht dem ohne Entfernung des Harzes gewonnenen Material an Haltbarkeit und Festigkeit weit voran.

Um den Harzgehalt der Guttapercha allgemein zu bestimmen, zerkleinert man eine bestimmte Menge, schüttelt diese dann mit Äther, lässt den Äther abziehen und stellt dessen spezifisches Gewicht fest. Die Zunahme des spezifischen Gewichtes ist dann proportional dem Harzgehalt. Natürlich muss eine Verdampfung des Äthers in der Lösung sorgfältig vermieden werden.

Das spezifische Gewicht der trockenen Guttapercha beträgt je nach der Herkunft und fabrikmässigen Bearbeitung im allgemeinen zwischen 0·96 und 1·02;[1]) grüne Guttapercha ist am leichtesten.

50. Guttaperchagewinnung aus Blättern.

Durch die Art der Guttaperchagewinnung, und zwar Entnahme des Milchsaftes aus der Rinde, ist die Unzuverlässigkeit und Minderwertigkeit des Materials bedingt, welche darauf zurückzuführen ist, dass die Eingeborenen die Säfte aus den verschiedensten, sogar Kautschukbäumen, durcheinandermischen. Man ist deshalb darauf gekommen, die Gewinnung der Guttapercha aus Blättern zu versuchen. Durch Sortieren der leicht voneinander zu unterscheidenden Blätter kann man ein gleichmässiges Material erlangen und vor allem werden die Bäume erhalten.

Nach dem Patent von RIGOLE wird die Guttapercha aus den zuvor getrockneten und zerkleinerten Blättern durch heisse Schwefelkohlenstoffdämpfe ausgelaugt. In das Gefäss mit Extrakt wird dann Wasserdampf geleitet, der den Schwefelkohlenstoff wieder verdampft und die Guttapercha dadurch ausscheidet. Nach OBACH wird die Guttapercha aus den Blättern durch siedenden Petroleumäther ausgelaugt und dann durch Abkühlung der Lösung unter 15° C. gefällt. Durch diese und auch weitere Verfahren werden in der Praxis die Lösungs- und Fällungsmittel wiedergewonnen. Die getrockneten Blätter ergeben ca. 10 % sogen. grüne Guttapercha, welche zwar

---

1) SOUBEIRON, Dinglers pol. Journal 103, 445.

ein gutes Aussehen hat und bei der Prüfung vorzüglich ist, doch erst ihre Gleichwertigkeit gegenüber dem aus der Rinde gewonnenen Material im Laufe der Zeit zeigen muss. Gegen die Einwirkungen von Licht und Luft ist die erstere Qualität der zweiten gegenüber an und für sich empfindlicher.

Die aus Blättern gewonnene Guttapercha enthält nach der Reinigung dieselben Bestandteile wie das Rohmaterial aus der Rinde, nämlich Gutta, Harze, feste Beimengungen und Wasser; die beiden letzteren allerdings in geringerer Menge. Die festen Bestandteile sind besonders Farbstoffe, sowie Rinde und Holz in feinerer Verteilung; sie geben auch hier der Guttapercha die charakteristische rote oder schokoladenbraune Färbung.

51. Aufnahmefähigkeit für Wasser.

Die geringwertigsten Sorten Guttapercha haben wegen ihres hohen Gehaltes an Harz, welches für Wasser undurchlässig ist, die geringste Aufnahmefähigkeit für Wasser.

Guttapercha aus Blättern zeigt allerdings trotz ihres geringen Harzgehaltes nur eine mässige Neigung zur Wasseraufnahme. Nach den von Obach aufgestellten Versuchen betrug die Gewichtszunahme verschiedener Sorten für 10 kg schwere Platten von 1 qdcm Oberfläche nach 18 Wochen 0·5 bis 1 %. Proben von Guttapercha verschiedener Herkunft in Seewasser gaben ganz merkwürdige Resultate. In den ersten vier bis sechs Wochen der Eintauchung zeigten dieselben eine Gewichtszunahme, dann wurde das Gewicht kleiner und wurde nach 18 Wochen bei allen Proben sogar geringer als vor der Eintauchung. Sogar unter Druck dringt das Wasser in Guttapercha nur bis zu einer ausserordentlich geringen Tiefe ein.

52. Zusammensetzung der Guttapercha. Phys. und elektr. Eigenschaften.

In der gegenüberstehenden Tabelle No. 31 sind die Ergebnisse von Versuchen mitgeteilt, die Obach über die Zusammensetzung, sowie die physikalischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften gereinigter Guttapercha verschiedener Herkunft angestellt hat.

In Spalte 6 sind die Zahlen, welche das Gewichtsverhältnis zwischen der reinen Gutta und den Harzen in den untersuchten Proben bezeichnen, dem Handelswert der Guttapercha proportional.

In Spalte 7 ist übersichtlich durchgeführt, welche Gewichtsmengen Harz in bezug auf Qualität sich in 10 Teilen Guttapercha befinden. Danach wird als Qualität 1, 1a, 1b, 1c, 2 u. s. w. die Guttapercha bezeichnet, welche in 10 Gewichtsteilen 1, $1^1/_4$, $1^1/_2$, $1^3/_4$, 2 u. s. w. Gewichtsteile Harz enthält.

In Spalten 8—10 sind die Wärmegrade angegeben, bei denen die Guttapercha im Wasserbade zu erweichen beginnt und knetbar wird, sowie die Zeit, nach welcher vorher erweichte Guttapercha in einem Wasserbad von 24° C. wieder erhärtet. Für die fabrikmässige Bearbeitung der Guttapercha sind diese Angaben von besonderem Interesse; z. B. werden sie für Anfertigung von Lötstellen in Guttaperchaadern und für die Widerstandsfähigkeit der Kabel gegen Hitze einen Massstab bieten. Man sieht, dass die besten Sorten höhere Wärmegrade aushalten und vor allem in kürzerer Zeit fest werden als die harzreicheren Sorten.

In Spalte 11 und 12 ist die Bruchfestigkeit der Guttapercha bei der Beanspruchung auf Zug und die bei dieser Beanspruchung eintretende Verlängerung konstatiert. Am Verhalten der Guttapercha beim Strecken einzelner Streifen ist ein Urteil über seine Güte zu gewinnen. Sie dehnt sich leicht bis zu einer gewissen Grenze. Um eine weitere Dehnung zu erreichen, die aber nur noch in ganz geringem Masse erfolgt, ist erhebliche Kraft

Tabelle No. 31.

Art des Materials (Gruppe, Name, Marke)	Zusammensetzung: Gutta %	Harz %	Feste Beimengungen %	Wasser %	Verhältnis Gutta zu Harz	Qualität	Physikalische Eigenschaften: Das Material wird weich bei ° C.	knetbar bei ° C.	erhärtet nach der Erhitzung in Minuten	Mechanische Eigenschaften: Zugfestigkeit für 1 mm² kg	Ausdehnung %	Elektrische Eigenschaften: Isolationswiderstand für 1 km $\log\frac{D}{d} = 1$ bei 24° C. Megohm	Ladefähigkeit für 1 km Mikrofar.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Reine Sorten:													
Pahang I . . .	80·0	17·7	1·4	0·9	4·5	1c	48·8	66·1	2·8	3·6	444	725	0·076
„ II . . .	77·8	19·0	1·8	1·4	4 1	2	48·3	64·4	4	2·9	414	1 800	0·083
„ III . . .	74·8	22·0	1·5	1·7	3 4	2a	45·5	65·5	3·5	2·8	410	2 920	0·083
Durchschnitt . .	78·1	19·2	1·5	1·2	4·1	2	47·7	65·5	3·3	3·2	427	1 630	0·079
Reine Sorten:													
Banjer rot I . .	70·5	26·9	1·4	1·2	2·6	2b	45	67·2	5	2·9	417	2 590	0·080
„ „ II . .	67·5	29·6	1·5	1·4	2·3	3	44·4	65·5	5	2·5	377	4 130	0·083
„ „ III . .	62·0	35·0	1·6	1·4	1·8	3c	42·2	65·0	11	2·0	384	7 100	0·086
Durchschnitt . .	67·0	30·2	1·5	1·3	2·2	3	43·8	66·1	6·8	2·5	394	4 320	0·083
Reine Sorten:													
Bulongan rot I .	73·4	24·2	1·4	1·0	3·0	2c	46·1	64·4	4	3·0	440	3 020	0·080
„ „ II .	67·7	29·8	1·4	1·1	2·3	3	45·5	62·7	7	2·4	415	3 560	0·082
„ „ III .	60·3	37·4	1·3	1·0	1·6	3b	43·8	62·2	16	1·8	383	11 600	0·086
Durchschnitt . .	68·6	29·0	1·4	1·0	2·4	3	45·5	63·3	8	2·5	419	5 150	0·082
Soondie:													
Bagan	57·5	40·9	1·0	0·6	1·4	4a	40·0	61·6	9·5	1·7	379	3 860	0·078
Kotaringin . . .	55·2	42·9	1·2	0·7	1·3	4a	39·4	60·5	20	1·5	372	2 520	0·083
Serapong . . .	56·2	42·4	0·9	0·5	1·3	4a	40·5	60·5	16	1·7	391	22 610	0·080
Weisse Sorten:													
Bulongan . . .	52·2	45·4	1·5	0·9	1·2	4c	41·1	67·7	24	1·7	426	29 850	0·084
Gemischt . . .	49·8	47·4	1·1	1·7	1·1	5	42·7	76·1	22	1·8	364	45 700	0·090
Banjer	51·8	44·1	1·8	2·3	1·2	4b	42·2	73·3	29	2·0	409	34 200	0·093
Gem. Sorten:													
Sarawak (gem.) .	55·6	40·9	1·8	1·7	1·4	4a	40·0	62·7	27	1·5	384	11 520	0·092
Pedang gekocht .	50·3	45·8	2·0	1·9	1·1	4	38·3	62·7	58	1·3	446	42 200	0·091
Banca „ . .	46·8	51·1	1·1	1·0	0·9	5a	39·4	62·7	63	1·1	390	31 600	0·085
Grüne Guttapercha Sérullas . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38 500	0·078
Grüne Guttapercha Sérullas . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	81 500	0·082
Grüne Guttapercha Obach	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32 800	0·071
Mittlere Qualität:	54·7	39·4	2·7	3·2	1·4	—	37·7	58·8	17	1·1	360	23 600	0·091
Dieselbe Qualität nach Ausziehung des Harzes: . .	93·0	2·8	2·5	1·7	33·2	—	57·2	91·1	0·8	4·0	285	18 500	0·085

aufzuwenden. Der Streifen reisst plötzlich ohne sich vorher noch besonders gedehnt zu haben. Je mehr Harze Guttapercha enthält, um so mehr verliert sie diese Eigenschaft.[1])

Die in Spalte 13 enthaltenen Angaben über den Isolationswiderstand beziehen sich auf Kabeladern von 1 km Länge, bei denen der äussere Durchmesser der isolierenden Hülle das Zehnfache des inneren Durchmessers beträgt, so dass $\log \frac{D}{d} = 1$ ist; bei den Messungen erfolgte die Ablesung des Galvanometers zwei Minuten nach dem Stromschluss. Die besseren Sorten Guttapercha haben einen geringeren Isolationswiderstand als die geringeren.

53. Widerstandsfähigkeit gegen hohe Spannungen.

Über die Widerstandsfähigkeit der Guttapercha gegen hohe elektrische Spannungen giebt die nachstehende Tabelle einen Massstab:

Tabelle No. 32.

	Dicke der Isolierschicht mm	Die Isolierschicht wurde durchschlagen bei einer Spannung von Volt
Guttapercha, Adern von verschiedenen Unterseekabeln	3·22	40 000
	2·76	28 000
	2·34	18 000
	2·09	15 000
	2·04	14 000
Versuchsadern von: Pahang Guttapercha	1·29	19 000
„ „ Banjer rot	1·47	20 000
„ „ Bulongan rot	1·22	19 000
„ „ Bagan soondie	1·24	15 000
„ „ Serapong soondie	1·37	18 000
„ „ Grüne Guttapercha	1·19	17 000
Kautschuk, Ader von einem Landkabel	2·59	20 000
„ „ „ „ Seekabel	1·98	19 000
Ebonit, Platte	3·30	38 000

54. Umpressung des Drahtes.

Früher wurde nur eine Umpressung des Drahtes mit Guttapercha vorgenommen, jetzt werden aber die Landkabel schon mit zwei bis drei, die Unterseekabel sogar mit vier und fünf übereinander liegenden Schichten versehen, da man dadurch dem Zurückbleiben von Luft und Feuchtigkeit in der Guttapercha und der exzentrischen Lagerung der Seele in der isolierenden Hülle vorbeugen will. Um den einzelnen Lagen gute Bindekraft zu geben, wird entweder die Ader nach jeder Umpressung mit einem dünnen Überzug von Chatterton-Compound versehen, oder es werden in derselben Maschine gleichzeitig mehrere Lagen aufgepresst (LOEFFLERsche Vielfachpresse).

55. Haltbarkeit der Guttapercha im Wasser und Erdboden.

Es wurde vorhin erwähnt, dass Guttapercha durch Wasser nicht verändert wird; es wird daher die Aufbewahrung der Vorräte dieses Materiales in Gruben oder Behältern, die mit Wasser gefüllt und gegen Luftzutritt geschützt sind, geschehen. In der gemässigten Zone hat Guttapercha auch im Erdboden eine sehr grosse Haltbarkeit; z. B. haben sich grosse Kabel der

---

1) Dr. BAUR, Das elektrische Kabel 1903, S. 264.

Reichstelegraphenverwaltung, welche in einer Tiefe von 1 m liegen, seit mehr als 25 Jahren gut gehalten. Bei nicht genügend tiefer Verlegung der Kabel im Sandboden wird die Guttapercha aber angegriffen. Licht und Luft ausgesetzte Leitungen sollen mit einem Asphaltüberzug versehen sein und eventuell durch Verlegung in isolierendes Material gegen schroffen Temperaturwechsel und wechselnde Nässe geschützt sein, da derartige Verhältnisse ausserordentlich schnelles Verderben der Guttapercha herbeiführen können. Sie wird in diesem Falle brüchig und harzig, da die in ihr enthaltenen flüchtigen Öle entweichen. Sie verliert schliesslich ihre guten isolierenden Eigenschaften und kann bei fortschreitendem Oxydationsprozess sogar leitend werden.

56. Material einiger Unterseekabel.

Tabelle No. 33.

Bezeichnung des Kabels	Herstellungsjahr	Zeit der Analyse	Jahr der Messung	Zusammensetzung: Gutta %	Harze %	feste Beimengungen %	Wasser %	Verhältnis Gutta zu Harze	Elektrische Eigenschaften: Isolationswiderstand für 1 km Megohm	Ladefähigkeit bei 24° C. Mikrofar.
1. England-Frankreich (Dover-Cap Grisnez)	1850	1888	1875	85·0	9·1	2·7	3·2 bis 4·2	9·3	435	—
2. Schottland-Irland (Port Patrick-Donaghadee)	1853	1888	—	75·8	17·0	2·5	4·7	4·5	—	—
3. Irland-Neufundland (Valentia-Trinity Bay)	1857	1897	—	76·1	20·3	3·0	0·6 bis 1·4	3·7	—	—
4. England-Holland (Oxfordness-Haarlem)	1858	1897	1897	80·2	12·8	2·9	4·1	6·3	396	0·116
5. Persischer Meerbusen (Kurrachee-Buschir)	1863	1888	1865	75·7	17·1	2·7	4·5	4·4	675	0·098
6. Schwarzes Meer (Kertsch-Suchum Kale)	1869	1882	1882	68·9	23·9	3·2	4·0	2·9	1780	0·096

In der vorstehenden Tabelle sind Zusammensetzungen und elektrische Eigenschaften der Guttapercha einiger älterer Unterseekabel angegeben. Mit Tabelle auf Seite 45 verglichen, sieht man, dass das Material dieser Kabel bezüglich des Gehaltes an reiner Gutta den jetzigen besten Fabrikmarken gleich steht oder diese zum Teil noch weit übertrifft.

Aus der gesamten Guttaperchaproduktion werden ca. zwei Drittel oder mehr für Telegraphenkabel verwendet.

57. Kultur von Guttaperchagewächsen

Um dem zunehmenden Bedarf an Guttapercha zu genügen und auch dem eventuellen Erschöpfen der Produktionsquellen vorzubeugen, werden seitens der französischen, niederländischen und englischen Regierung vielfach Versuche zur rationellen Kultur von Guttaperchagewächsen der Palaquiumart in ihren Kolonien gemacht.[1])

1) Auf den Südseeinseln sind neue Wälder entdeckt worden. ETZ 1902, S. 281.

Es ist wohl anzunehmen, dass Versuche einer planmässigen Kultur der Guttaperchagewächse in geographisch günstig liegenden deutschen Ländern, wie Kaiser Wilhelmsland, Kamerun und Deutsch-Ostafrika Aussicht auf Erfolg haben dürften.

58. Isolationswiderstand der Guttapercha.

Der Isolationswiderstand der Guttapercha ist mässig hoch und von SIEMENS BROS., London, angegeben zu

$$W = 4500 \log \frac{D}{d} \quad \text{. . . . . (18)}$$

von MUNRO

$$W = 5800 \log \frac{D}{d} \quad \text{. . . . . (19)}$$

Nach ZIELINSKI[1]) hat Guttapercha keinen bestimmten Temperaturkoeffizienten. Der Isolationswiderstand W_t bei der Temperatur t ergiebt sich aus dem Widerstand bei 15° C. annähernd durch den Ausdruck

$$W_t = C^{(t-15)}\, W_{15} \quad \text{. . . . . (20)}$$

Die Konstante C wird angegeben

von BRIGHT und CLARK . . 0·888
„ FRÖLICH . . . . . 0·876 } im Mittel 0·875.
„ ZIELINSKI . . . . . 0·861

Die gegenüberstehende Tabelle (No. 35) ist unter Zugrundelegung des Mittelwertes berechnet. Zweckmässig bedient man sich der Kurven auf S. 49 zur Feststellung des Widerstandes bei 15° C., da der Temperatureinfluss auf Guttapercha nicht genau gesetzmässig ist. Bei niederen Temperaturen nimmt der Isolationswiderstand mit der Dauer der Isolierung bei weitem mehr zu als bei höheren Temperaturen. Tabelle No. 34 zeigt diese Änderung, und zwar wurde der Widerstand der Guttapercha nach einer Elektrisierung von 1 Minute gleich 1 gesetzt. Beim Gebrauch der Kurven[2]) wird der gemessene Widerstand auf der Abscissenachse aufgesucht; die zugehörige Ordinate bis zum Schnitt mit der Temperaturlinie ergiebt dann den Widerstand bei 15° C.

Der Widerstand wird nach einer Elektrisierung von einer Minute gemessen. Mit der Dauer der Elektrisierung wächst der Widerstand.

Tabelle No. 34.

Celsius	24°	22°	20°	18°	16°	14°	12°	10°	8°	6°	4°	2°	0°
Minuten 1	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00
„ 2	1·07	1·09	1·10	1·10	1·11	1·11	1·11	1·12	1·15	1·17	1·20	1·23	1·28
„ 3	1·13	1·14	1·15	1·15	1·15	1·15	1·17	1·18	1·21	1·24	1·29	1·33	1·44
„ 4	1·17	1·18	1·18	1·19	1·20	1·21	1·23	1·25	1·27	1·30	1·35	1·41	1·58
„ 5	1·20	1·21	1·22	1·23	1·24	1·25	1·26	1·29	1·32	1·34	1·39	1·47	1·64
„ 10	1·28	1·29	1·30	1·31	1·33	1·34	1·36	1·40	1·44	1·48	1·57	1·68	1·91
„ 15	1·31	1·33	1·34	1·35	1·37	1·40	1·43	1·47	1·52	1·59	1·67	1·82	2·11
„ 20	1·33	1·35	1·37	1·39	1·41	1·45	1·48	1·53	1·58	1·65	1·76	1·92	2·29
„ 30	1·35	1·37	1·39	1·42	1·45	1·49	1·55	1·60	1·67	1·76	1·89	2·08	2·53
„ 40	1·37	1·40	1·43	1·47	1·51	1·56	1·62	1·69	1·74	1·87	2·03	2·22	2·71

1) ETZ 1896, S. 26.
2) Vgl. UPPENBORN, Kalender für Elektrotechniker.

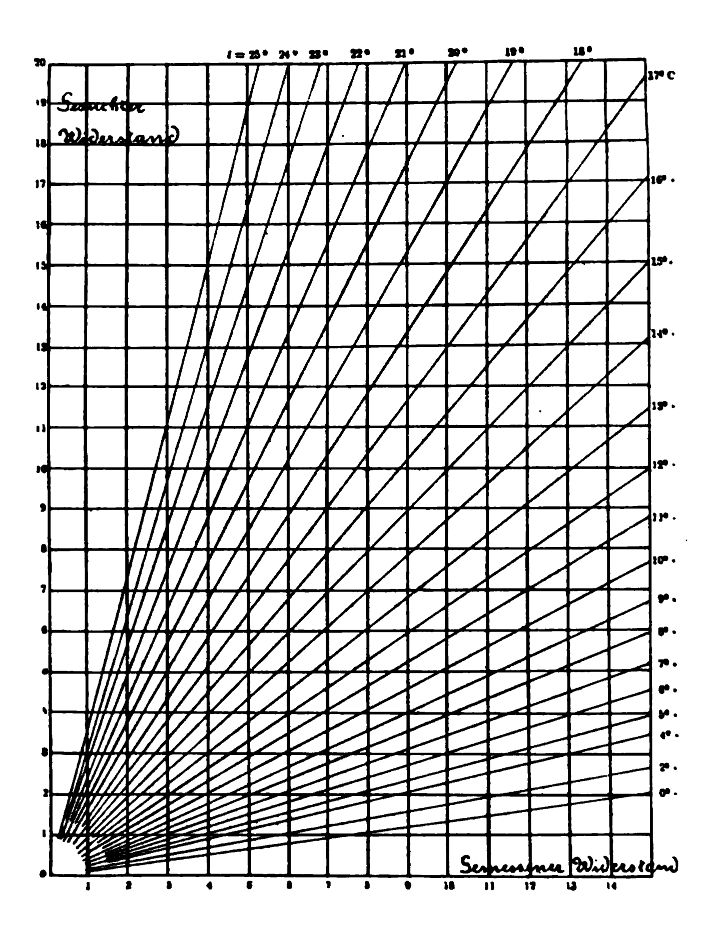


Tabelle No. 35.

Reduktion des Widerstandes von Guttapercha auf 15° C.

° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c
30	7·30	22·5	2·698	15	1·000	7·5	0·3704
29·5	6·84	22	2·525	14·5	0·9356	7	0·3467
29	6·29	21·5	2·363	14	0·8758	6·5	0·3245
28·5	5·94	21	2·213	13·5	0·8196	6	0·3037
28	5·59	20·5	2·070	13	0·7671	5·5	0·2843
27·5	5·245	20	1·939	12·5	0·7179	5	0·2661
27	4·90	19·5	1·814	12	0·6719	4·5	0·2492
26·5	4·595	19	1·698	11·5	0·6290	4	0·2330
26	4·29	18·5	1·589	11	0·5888	3·5	0·2182
25·5	4·025	18	1·487	10·5	0·5511	3	0·2040
25	3·76	17·5	1·392	10	0·5160	2·5	0·1911
24·5	3·502	17	1·302	9·5	0·4828	2	0·1788
24	3·244	16·5	1·219	9	0·4518	1·5	0·1674
23·5	3·081	16	1·141	8·5	0·4228	1	0·1567
23	2·884	15·5	1·068	8	0·3957	0·5	0·1467
						0·0	0·1374

Der Isolationswiderstand wächst mit dem Druck. Ist W der Widerstand bei Atmosphärendruck, w_p der Widerstand bei einem anderen Druck p, so ist

$$W_p = W(1 + 0\cdot00327\,p) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (21)$$

Aus diesem Grunde ist Guttapercha für Unterwasserkabel, insbesondere Tiefseekabel, vorteilhaft zu gebrauchen und es erklärt sich aus diesem Verhalten der Guttapercha auch die Thatsache, dass der Isolationswiderstand von Guttaperchakabeln nach der Verlegung in grosse Tiefen bedeutend höher wurde, als vor der Verlegung.

Kautschuk.[1])

59. Vorkommen und Arten der Kautschuk liefernden Pflanzen.

Kautschuk (Federharz, Gummi) ist ein Produkt aus dem Milchsaft einiger tropischer (innerhalb des 30. Grades nördlicher und südlicher Breite) Pflanzen, von denen bereits ca. 80 Arten als zur Kautschukgewinnung geeignet, bekannt sind. Sie gehören meist zu den Familien der Euphorbiaceen, Artocarpaceen und Apocynaceen.

Die Kautschukpflanzen sind oft Bäume von beträchtlicher Höhe, zum Teil Kletterpflanzen (Schlingpflanzen, Lianen) und Sträucher. Sie gedeihen in Mittel- und Südamerika, West- und Ostindien, dem indischen Archipel, Mittelafrika und Nordaustralien. Einige Arten (besonders Landolphia) kommen auch in Kamerun, Togo, Deutsch-Ostafrika und Neu-Guinea vor. Nach Mitteilung des Konsuls der Vereinigten Staaten von Amerika in Honduras soll, wie „India Rubber Journal" mitteilt, daselbst eine Weinrebenart entdeckt sein, welche einen Kautschuk enthält, dessen Güte noch den best bewährten Parakautschuk übertrifft. Die Rebe erreicht eine Länge von 30 m bei einem Durchmesser von 10 bis 60 cm am Fussende.

Aber auch in der gemässigten Zone kommen geringe Mengen Kautschuk enthaltende Pflanzen vor. Kassner hält eine fabrikmässige Gewinnung von Kautschuk in Deutschland unter Verwendung einheimischer Pflanzen für gewinnbringend und empfiehlt dafür besonders Sonchus oleraceus („Gänsedistel"), die in grossen Massen angebaut werden müsste und bei geeigneter Verarbeitung neben 0·18 % reinem Kautschuk noch 2·8 bis 3·8 % verwendbare Fette, Wachse und Farbstoffe liefern würde. Die interessierten Kreise haben diese Vorschläge aber anscheinend für wenig aussichtsreich gehalten.[2])

60. Gewinnung des Kautschuks.

Zur Gewinnung des Kautschuks wird die Rinde der Pflanzen an geeigneten Stellen, meist bis zur Höhe von 2 m über dem Erdboden, mit Einschnitten versehen, aus denen der Milchsaft abfliesst. Sobald die Einschnitte zu tief sind, ist die Gefahr vorhanden, dass der Baum eingeht und der Milchsaft sich mit anderen, zum Teil schädlichen Pflanzensäften vermischt.

Der ausfliessende Milchsaft, der bis zu 40 % Kautschuk enthält, wird aufgefangen und das darin enthaltene Kautschuk unter Abscheidung des überflüssigen Wassers zum Gerinnen gebracht. In jeder Gegend ist die Art und Weise der Kautschukgewinnung anders eingeführt, und zwar giebt F. v. Höhnel davon die folgende Zusammenstellung:

---

1) Archiv für Post und Telegrafie 1901.

2) Es ist vielfach versucht worden Kautschuk künstlich unter Verwendung von Kohlenwasserstoffverbindungen (Isopren) herzustellen. Praktische Resultate wurden bisher nicht erzielt. (E. A. 1899, S. 2158.)

1. Der Milchsaft wird auf einer Form zum Aufgiessen in dünnen Schichten aufgetragen und diese werden in der Hitze allmählich getrocknet. Es werden oft in dieser Weise über 100 Schichten übereinander gelagert.
2. Der Milchsaft wird unmittelbar aus der Pflanze in kleine Gruben geleitet, welche im Humus hergestellt werden und wo er eintrocknet. Da die Humusschicht wie ein Filter wirkt, so fliesst der wässerige Teil der Milch ab und der Kautschuk bleibt zurück. Dieses Verfahren kann nur in der trockenen Jahreszeit angewendet werden.
3. Man kann den Milchsaft auch mit etwas Wasser versetzen, um ihn dann gerinnen und die ausgeschiedene Kautschukmasse an der Sonne oder im Rauchfeuer trocknen zu lassen, nachdem sie vorher schon durch Kneten und Pressen von den unnötigen Flüssigkeiten getrennt wurde.
4. Zum beschleunigten Gerinnen wird die Masse mit einer Salz- oder Alaunlösung u. s. w. versetzt und dann, wie vorbeschrieben, gepresst und getrocknet.
5. Der Milchsaft wird mit ca. vier- bis achtfacher Menge Wasser vermischt, worauf er sich beim ruhigen Stehen in Form eines dicken Rahms abscheidet, der mehrmals gewaschen und getrocknet wird.
6. Man lässt den Milchsaft in flachen Gefässen einfach eintrocknen.
7. Da der Milchsaft sehr konzentrisch ist, kann man ihn unmittelbar über den Arm des Sammlers fliessen lassen, wo er rasch trocknen und in Form eines Ringes herabrollen wird.
8. Man lässt den ausfliessenden Milchsaft auf die Rinde oder den Boden fliessen, wo er gesammelt und zu Kugeln, Spindeln u. s. w. vereinigt oder aufgewickelt wird.

61. Wert des Kautschuks.

Der Wert des Rohkautschuks ist je nach dem Ursprung desselben sehr verschieden, und zwar kommt der Gehalt an Wasser, der zwischen 0·5 und 50 % beträgt, sowie Beimengungen an Erd- und Holzbestandteilen (Sand, Steine, Rinde u. s. w.), die mitunter 30 % der ganzen Masse betragen, in Betracht. Parakautschuk (Paragummi) ist zur Zeit am wertvollsten, da er in der unter 1 angegebenen Weise gewonnen wird. Durch Trocknen des Para-Milchsaftes am Rauchfeuer werden die Gärung und Fäulnis erregenden Bestandteile zerstört und dem Kautschuk grosse Dauerhaftigkeit verliehen.

62. Verarbeitung.

Die weitere Verarbeitung des Kautschuks geschieht in der gleichen Weise, wie die des Guttapercha, indem gleichfalls unter Zuführung von Wasser bei mässiger Wärme die zerkleinerte Kautschukmasse einem Knet- und Walzprozess unterworfen wird. In Form von Blättern oder Platten (sogenannte Patentgummiplatten) kommt dann der Kautschuk in den Handel. Fig. 9 zeigt einen Vierwalzenkalander der Gebrüder ODENTHAL, Köln-Ehrenfeld, welcher zum Auswalzen des Gummi dient. Sämtliche Walzen werden mit gleicher Geschwindigkeit bewegt.

63. Eigenschaften des Kautschuks.

Bei gewöhnlicher Temperatur ist Kautschuk weich und elastisch. Er hat eine gelblichweisse bis schwarze Farbe, ist geschmacklos, aber selten geruchlos. Einige Sorten riechen schwach und angenehm, andere aber widerwärtig. Die grösste Elastizität erreicht Kautschuk bei 36° (Körperwärme), bei 10° und darunter wird er hart; bei 50 bis 60° beginnt er zähe und klebrig und bei 120° flüssig zu werden, wobei er einen starken Geruch

zeigt. Nach dem Zerschneiden und starkem Aneinanderpressen von Kautschuk vereinigen sich die zerschnittenen Teile vollständig, ohne eine Spur der Trennung zu hinterlassen. Das spezifische Gewicht beträgt 0·90 bis 0·96.

Gegen Säuren und Lösungsmittel ist Kautschuk im allgemeinen nicht sehr widerstandsfähig und er quillt in manchen Flüssigkeiten, bis zu einem gewissen Grade auch in Wasser, besonders aber in Alkohol, stark auf.

Um alle diese Nachteile für die Verarbeitung des Kautschuks zu heben und ihm eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen äussere Einflüsse zu geben,

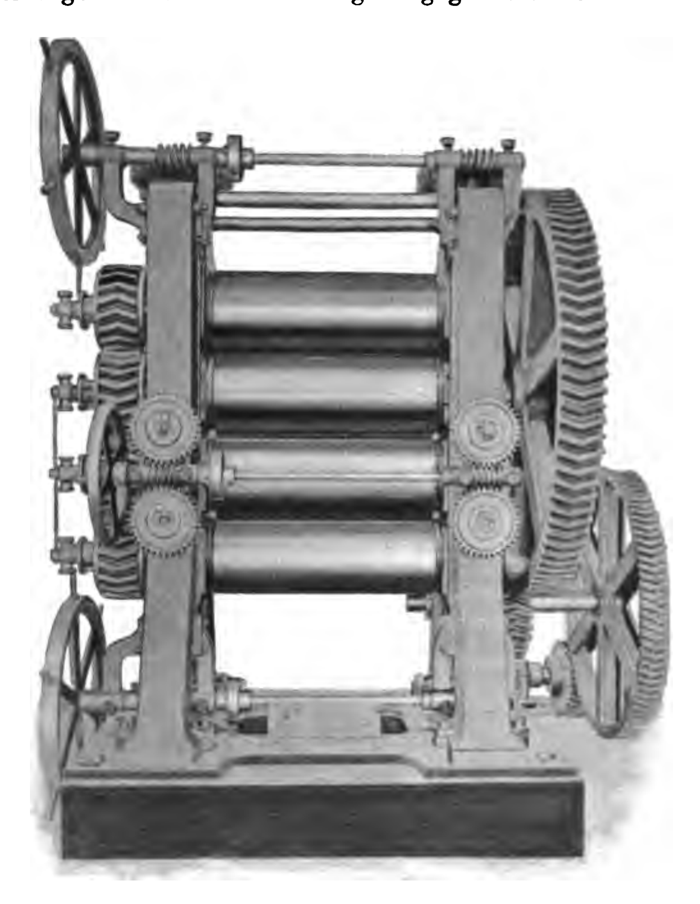


Fig. 9.

64. Vulkanisation.

wird er vulkanisiert, d. h. unter Einwirkung bestimmter Temperaturen innig mit Schwefel vermischt. Dies geschieht nach der Erfindung (1839) durch den Amerikaner Goodyear und besteht darin, dass dem Kautschuk 5 bis 20 % pulverisierter Schwefel zugesetzt und das Ganze auf 112° (Schmelztemperatur des Schwefels) bis 160° in eisernen Kesseln mehrere Stunden erhitzt wird. Je höher die Temperatur des sogenannten „Brennens“ ist, um so schneller geht die Vulkanisation vor sich, und zwar wird dieselbe am besten bei 125 bis 135° erzielt. Statt der Vulkanisierkessel werden auch Pressen verwendet, deren hohler Ober- und Unterteil durch Dampf auf die entsprechenden Temperaturen gebracht werden kann. Ihr Antrieb erfolgt durch Dampf, von Hand oder auf hydraulischem Wege.

Eine derartige Presse mit hydraulischem Antrieb von Gebrüder ODENWALD, Köln-Ehrenfeld, giebt Fig. 10 wieder.

Da sich von dem Schwefel nur ein kleiner Teil — höchstens 1 bis 2 % — mit dem Kautschuk verbinden soll, da der Rest bei längerem Liegen ungünstig auf den Kautschuk wirkt, er wird davon hart und spröde, so ist es erforderlich, dass der überschüssige Schwefel wieder entfernt wird. Es geschieht dies entweder durch abwechselndes Ausdehnen und Zusammendrücken des Kautschuks, oder man verwendet dazu Natronlauge. Durch das Entschwefeln behält der Kautschuk alle Vorzüge des vulkanisierten Materials, wird aber dauerhafter dadurch.

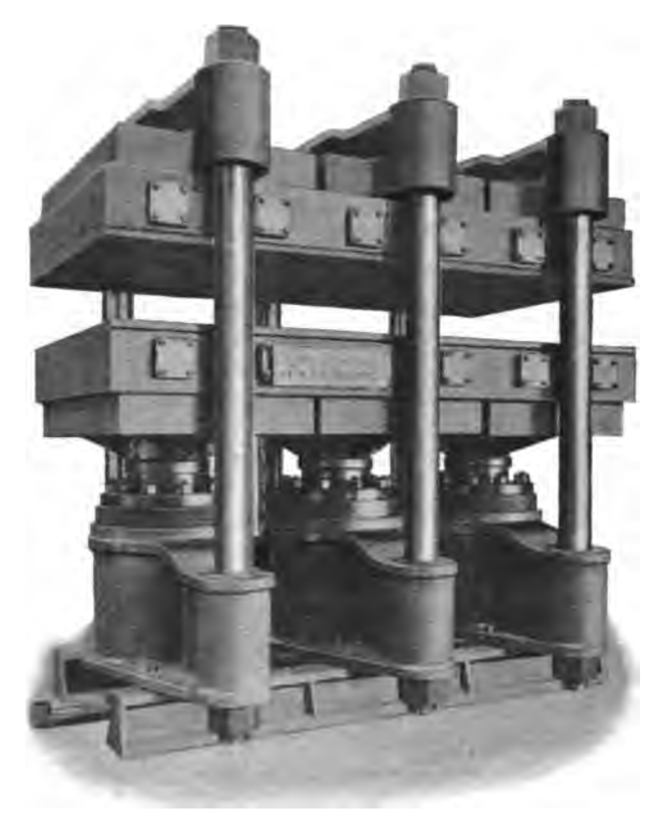


Fig. 10.

Nach einer von dem Engländer HANCOCK erfundenen Methode des heissen Vulkanisierens von Kautschuk wird derselbe einige Zeit in ein Schwefelbad von 150° getaucht. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass der Kautschuk eine zu grosse Menge Schwefel in sich aufnimmt und einen um so grösseren Entschwefelungsprozess durchzumachen hat.

Eine andere Art, und zwar die kalte Vulkanisation, ist zuerst 1846 von dem Engländer PARKES angewendet worden und besteht darin, dass das Material wenige Minuten in eine Lösung von Chlorschwefel (Schwefelchlorür) oder Schwefelkohlenstoff getaucht wird, ohne erhitzt zu werden. Man läuft Gefahr, dass bei dieser Anwendung der Kautschuk, wenn er nicht ganz dünn ist, nicht ganz durchvulkanisiert wird und daher nur für Einzelfälle verwendet

werden kann. Ausserdem ist die Verwendung von Schwefelkohlenstoff als Lösungsmittel durch den unangenehmen Geruch und die Gefahr für die Gesundheit der Arbeiter[1]) sehr peinlich, so dass man sich dazu bisher wenig entschlossen hat. Andere Mittel zur kalten Vulkanisation sind nach C. O. WEBER Tetrachlorkohlenstoff und Benzol. Das erstere ist zwar eines der besten Mittel, kommt jedoch infolge des hohen Preises in der Praxis nicht in Betracht. Benzol hat nicht die Nachteile wie Schwefelkohlenstoff, ist aber $1^1/_2$ mal teuerer als dieses und wird daher wenig angewendet. Dagegen kommt neuerdings gereinigtes Petroleum als Lösungsmittel für Chlorschwefel vielfach zur Anwendung.

65. Widerstandsfähigkeit des vulkanisierten Kautschuk. Der vulkanisierte Kautschuk (Vulkanit) hat eine mattgraue Farbe und behält seine Härte und Elastizität bei Temperaturen von —20 bis +100°. Er ist gegen chemische Einflüsse im hohen Grade widerstandsfähig und es werden daher auch alle aus gewöhnlichem Kautschuk hergestellten Gegenstände nach ihrer Fertigstellung vulkanisiert. Eine Anfertigung aus vulkanisiertem Kautschuk ist insofern schwierig, weil die Schnittflächen desselben sich beim Zusammenlegen nicht wieder vereinigen, wie beim gewöhnlichen Kautschuk.

66. Hartgummi. Wird dem Kautschuk bei Heissvulkanisation Schwefel in grösseren Mengen, bis zu ca. 50% zugesetzt und führt man das Brennen 6 bis 12 Stunden bei 150 bis 165° durch, so erhält man eine harte, fast unelastische Masse, genannt Ebonit oder Hartgummi, 1852 von GOODYEAR zum erstenmal hergestellt. Hartgummi lässt sich bei normaler Temperatur schneiden, sägen, hobeln, bohren und polieren u. s. w. und wird daher in ausgedehntem Masse im Maschinenbau, insbesondere für Apparate der Starkstromtechnik verwendet.

Verschiedene Beimischungen zum Ebonit und Vulkanit werden je nach der in Frage kommenden Verwendungsart auch hierbei in Verwendung gezogen, und zwar als Färbemittel Bleiweiss, Zinkweiss, Zinnober, Goldschwefel, Mennige u. s. w. und als sonstige Zusätze Sägespäne, Sand, Kreide, Schwerspat, Harz, Wachs, Metallzusätze und andere, oft als Fabrikgeheimnis betrachtete Mittel.

Hartgummi der Harburger Gummikamm-Kompanie mit 30 bis 35% Schwefelgehalt wurde nach Versuchen der Königl. mechanischen Versuchsstation zu Charlottenburg erst zerstört

bei Zug von 3·6 bis 6 kg für 1 mm²
„ Druck „ 5·8 „ 8·7 „ „ 1 „

67. Isolationswiderstand von Gummi. Kautschuk besitzt einen weit höheren Isolationswiderstand als Guttapercha. AYRTON und PERRY geben an, dass Kautschuk beim Erkalten von 90·7° auf 67° C. einen Widerstand von 1015 bis 5391 Megohm hatte, während sie für Guttapercha beim Erkalten von 83° auf 44° C. 0·5 bis 8·9 Megohm fanden.

Der spezifische Widerstand ist aus Tabelle No. 29 S. 35 zu entnehmen. Die nebenstehende Tabelle gestattet eine rasche Reduktion des Widerstandes des Gummis auf 15° C., die auch für Okonit zutrifft.

1) Zum Schutze der Arbeiter, welche beim Vulkanisieren von Gummi thätig sind, hat der Bundesrat auf Grund des § 120e der Gewerbeordnung am 1. März 1902 eine Verordnung erlassen, welche am 4. März 1903 im Reichsanzeiger veröffentlicht wurde. Sie ist abgedruckt ETZ 1902, S. 226.

Tabelle No. 36.

Reduktion des Widerstandes von Gummi und Okonit auf 15° C.

° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c
30	2·000	22·5	1·414	15	1·0000	7·5	0·7071
29·5	1·954	22	1·382	14·5	0·9772	7	0·6909
29	1·910	21·5	1·350	14	0·9548	6·5	0·6752
28·5	1·866	21	1·320	13·5	0·9330	6	0·6597
28	1·824	20·5	1·289	13	0·9117	5·5	0·6447
27·5	1·782	20	1·260	12·5	0·8909	5	0·6299
27	1·741	19·5	1·231	12	0·8705	4·5	0·6155
26·5	1·701	19	1·203	11·5	0·8506	4	0·6015
26	1·663	18·5	1·176	11	0·8312	3·5	0·5877
25·5	1·625	18	1·149	10·5	0·8122	3	0·5743
25	1·587	17·5	1·122	10	0·7937	2·5	0·5612
24·5	1·551	17	1·097	9·5	0·7756	2	0·5484
24	1·516	16·5	1·072	9	0·7578	1·5	0·5359
23·5	1·481	16	1·047	8·5	0·7405	1	0·5236
23	1·447	15·5	1·023	8	0·7236	0·5	0·5117
						0·0	0·5000

Papier.

68. **Verwendungszweck.**

Man verwendet Papier in grösserem Umfange in der Elektrotechnik, nachdem man erkannt hat, dass es eines der billigsten Isoliermaterialien darstellt und eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen Eindringen von Feuchtigkeit besitzt als etwa lose gesponnene Baumwolle oder Seide, zumal wenn es in geeigneter Weise imprägniert ist.

Ursprünglich hat man die Holzfaser in Form von Papier bei der Fabrikation von Dynamos, Motoren und Transformatoren gegen das Auftreten der Wirbelströme und zur Isolierung der stromführenden Teile verwendet, ist dann auf die Herstellung von Isolierplatten, Schalterkappen u. s. w. übergegangen und hat jetzt in den Bergmann- und Adtschen Isolierrohren allgemein eingeführte Erzeugnisse.

Die Firma Perci & Schacherer hat die Holzfaser für die Herstellung des sogenannten Patent-Cellulose-Hungariadrahtes verwendet, welcher vier isolierende Schichten enthält, und bei geringem Durchmesser einen verhältnismässig hohen Isolationswiderstand hat und somit für Installationen sehr geeignet ist. Die vier Isolierschichten bestehen aus zwei Papier- und zwei Baumwollenumwickelungen, welche letzteren mit einer Isoliermasse getränkt sind. Es sei ferner an die Leitungen erinnert, welche Ferranti 1891 verwendete, um den auf 10000 Volt gespannten Strom von der Zentrale in Depfort nach London zu leiten. Die Konstruktion der Kabel war nach einer Arbeit von Rabinowicz die folgende: „Der innere Leiter bestand aus einer Kupferröhre von 1·6 qcm Querschnitt; um diese wurden mehrere Lagen braunen Papieres durch eine eigens zu diesem Zwecke konstruierte Isoliermaschine aufgerollt. Das Papier war, um alle Feuchtigkeit auszutreiben, über stark erhitzte Platten gezogen und dann mit einer heissen Lösung von Wachs in Öl imprägniert worden. Als äusserer Leiter wurde eine dem

69. **Erstes Ferranti-Kabel mit Papierisolierung.**

inneren Leiter an Querschnitt gleiche Röhre aufgezogen und der erste Isolierungsprozess wiederholt. Zum Schutze gegen Beschädigungen und um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern, wurde das Ganze in ein Stahlrohr geschoben und alle Luft durch Einpressen von Wachslösung entfernt.“ Die Fabrikationslänge dieser konzentrischen Kabel betrug etwa 6 m.

70. Papier für Hochspannung.

Aber auch für hohe Spannungen wird Papier allein oder auch in Verbindung mit Jute benutzt. Die Dimensionen der Isolierteile solcher Kabel hängen allerdings von der Art des Papiers, seiner Stärke und Trockenheit, sowie von der Art der verwendeten Isoliermasse u. s. w. ab und es lassen sich über bestimmte Dimensionen keine Angaben machen.

Die auf Seite 33 in Tabellen No. 25 u. 26 wiedergegebenen Durchschlagswerte für Papier (gemessen im Laboratorium von Ganz & Co. von Rabinowicz) geben einen Anhalt für die Zweckmässigkeit des Papiers.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen kann bedeutend erhöht werden, wenn Papier durch flüssiges Paraffin von gewöhnlicher Schmelztemperatur gezogen, bezw. mit diesem bestrichen wird. Bleikabel, die mit geeignetem Papier und entsprechender Isoliermischung hergestellt sind, können für die höchsten zur Zeit verlangten Spannungen bequem verwendet werden und funktionieren dauernd bei unmerklichen Stromverlusten und ohne Durchschläge. Man kann wohl sagen, dass ein gut armiertes und gegen chemische Einflüsse geschütztes Papierkabel jedes andere überdauert.

71. Papier an Telegraphenkabeln.

Die Firma Siemens & Halske hat viele Versuche in der Fabrikation von Telephonkabeln vorgenommen und im Papier ein Material gefunden, das infolge seiner Eigenschaften es ermöglicht, die Konstruktion dieser Kabel so auszubilden, dass die Luft, welche die allergeringste spezifische Induktionskapazität aufweist, als Dielektrikum in Telephonkabeln verwendet werden kann.

Felten & Guilleaume stellen Telephonadern mit Luftisolation auf folgende Art her. Es werden die inneren Leiter aus Façondrähten von drei- oder viereckigem Querschnitt gewählt und um ihre Achse verdrillt. Die Papierisolierung lässt genügend Lufträume infolge ihrer Steifheit und stellt gleichzeitig eine sehr gute Isolation der einzelnen Adern unter sich und gegen den Bleimantel dar.

Die einzelnen Kabelfabriken wenden voneinander verschiedene Systeme der Luftisolation an. Es werden Papierstreifen mit ein oder zwei Drähten durch eine Maschine gelassen und verseilt, oder es wird eine Papierröhre um den Draht geschaffen. In anderen Fällen wird perforiertes Papier verwendet, oder es wird durch spiralförmige Papierumwickelung Luftisolierung hergestellt. Die einzelnen Adern werden bis zu 700 miteinander verseilt und mit Bandwickelung versehen, um dann durch einen Trocknungsprozess alle Feuchtigkeit zu verlieren und dann mit einem Bleimantel und eventuell noch einer Eisenband- bezw. Drahtarmatur versehen zu werden.

72. Widerstand des Papiers.

Der spezifische Widerstand des Papiers ist aus Tabelle No. 29 zu entnehmen, die zur Reaktion auf 15 ° C. erforderlichen Koeffizienten *c* aus Tabellen No. 37 u. 38.

Leinengarn,[1]) Hanf.

73. Gewinnung.

Das Leinengarn wird aus Flachs (Linum *L.*) gewonnen.

Durch eine zweckmässig geleitete Gärung, „Rotten, Rösten“, wird der Pflanzenleim entfernt, der holzige Kern durch „Brechen“ in kleine Stückchen

1) Vgl. Langer, Flachsbau, Wien 1893.

Tabelle No. 37.

Reduktion des Widerstandes von getrocknetem Papier auf 15° C.

° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c
30·0	2·22	22·5	1·54	15	1·00	7·5	0·695
29·5	2·17	22	1·50	14·5	0·975	7	0·68
29	2·13	21·5	1·45	14	0·95	6·5	0·66
28·5	2·09	21	1·40	13·5	0·925	6	0·64
28	2·04	20·5	1·36	13	0·90	5·5	0·63
27·5	2·00	20	1·32	12·5	0·875	5	0·61
27	1·95	19·5	1·28	12	0·85	4·5	0·59
26·5	1·90	19	1·24	11·5	0·83	4	0·57
26	1·86	18·5	1·21	11	0·81	3·5	0·555
25·5	1·81	18	1·17	10·5	0·79	3	0·54
25	1·77	17·5	1·14	10	0·77	2·5	0·525
24·5	1·72	17	1·11	9·5	0·755	2	0·51
24	1·68	16·5	1·09	9	0·74	1·5	0·48
23·5	1·64	16	1·06	8·5	0·725	1	0·47
23	1·59	15·5	1·03	8	0·71	0·5	0·45
						0·0	0·43

Tabelle No. 38.

Reduktion des Widerstandes von imprägniertem Papier auf 15° C.

° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c
30	42·20	22·5	5·20	15	1·000	7·5	0·525
29·5	33·00	22	4·48	14·5	0·95	7	0·510
29	24·60	21·5	3·84	14	0·90	6·5	0·495
28·5	21·00	21	3·30	13·5	0·855	6	0·480
28	17·50	20·5	2·74	13	0·81	5·5	0·470
27·5	16·00	20	2·28	12·5	0·77	5	0·460
27	14·50	19·5	2·00	12	0·74	4·5	0·453
26·5	13·20	19	1·80	11·5	0·705	4	0·445
26	11·90	18·5	1·62	11	0·67	3·5	0·438
25·5	10·80	18	1·47	10·5	0·645	3	0·430
25	9·70	17·5	1·37	10	0·62	2·5	0·423
24·5	8·70	17	1·28	9·5	0·595	2	0·415
24	7·85	16·5	1·20	9	0·57	1·5	0·408
23·5	6·90	16	1·13	8·5	0·555	1	0·400
23	6·00	15·5	1·065	8	0·540	0·5	0·395
						0·0	0·390

zerknickt. Die Zerteilung des Holzes erfolgt in der Stechmaschine, die Trennung der letzten Holzteilchen von der Flachsfaser durch Schwingmaschinen. Durch Hecheln wird die Faser feiner gespalten, die längeren Fäden von den feineren geschieden.

Hechelflachs hat Fasern von 300 bis 600 mm Länge. Jede Faser besteht aus einer Anzahl feinerer (0·012 bis 0·025 mm) und kürzerer (20 bis 40 mm) Fasern, die durch den Rest von Pflanzenleim zusammengehalten werden.

74. Einteilung nach englisch-irischem System.

Einteilung und Länge des Garnes erfolgt nach englisch-irischem System. Die Garne werden zum Zwecke der Numerierung auf einen Haspel gewickelt, dessen Umfang bekannt ist. Für Leinengarn beträgt dieser $2^1/_2$ Yards (914·4 mm). Eine bestimmte Anzahl von Umwindungen (Fäden) wird Strähne oder Hanks genannt. Die Strähne wird unterteilt in Gebinde oder Fitzen.

120 Fäden (threads) (à $2^1/_2$ Yards)	= 1 Gebinde	=	300	Yards
2 Gebinde (Leas)	= 1 heer	=	600	„
6 Gebinde	= 1 slip	=	1800	„
12 Gebinde	= 1 Strähne (hank)	=	3600	„
2 Strähne	= 1 Stück (hasp)	=	7200	„
2 Stück	= 1 Spindle (spindle)	=	14400	„

Die Feinheitsnummer der Leinengarne ergiebt die Anzahl der Gebinde, welche auf 1 Pfd. gehen. Da das Gebinde 300 Yards lang ist, so erhält man durch Multiplikation der Feinheitsnummer mit 300 die Länge eines Fadens, welcher 1 Pfd. wiegt.

Soll die einer Leinengarnnummer entsprechende Baumwollnummer festgestellt werden, so muss man sie durch 2·8 dividieren.

75. Hanf.

Hanf (Cannabis) wird in ähnlicher Weise wie Flachs gewonnen; die Faser ist jedoch länger wie die des Flachses, etwa 1—2 m.

Tabelle No. 39.

Reduktion des Widerstandes von imprägnierter Hanfisolation auf 15° C.

° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c	° C.	Koeffizient c
30	31·00	22·5	3·891	15	1·0000	7·5	0·559
29·5	28·40	22	3·472	14·5	0·950	7	0·543
29	26·00	21·5	3·080	14	0·905	6·5	0·528
28·5	23·50	21	2·714	13·5	0·864	6	0·5135
28	21·00	20·5	2·375	13	0·826	5·5	0·500
27·5	18·50	20	2·111	12·5	0·792	5	0·487
27	16·00	19·5	1·900	12	0·760	4·5	0·475
26·5	13·50	19	1·727	11·5	0·731	4	0·463
26	11·00	18·5	1·583	11	0·704	3·5	0·452
25·5	8·70	18	1·462	10·5	0·679	3	0·442
25	7·00	17·5	1·343	10	0·655	2·5	0·432
24·5	6·10	17	1·266	9·5	0·633	2	0·422
24	5·297	16·5	1·187	9	0·613	1·5	0·413
23·5	4·808	16	1·118	8·5	0·594	1	0·404
23	4·336	15·5	1·055	8	0·576	0·5	0·396
						0·0	0·388

Jute.[1]

76. Vorkommen und Gewinnung.

Jute, auch Kalkuttahanf genannt, ist die Bastfaser mehrerer Corchorusarten, die zu der Familie der Tiliaceen gehören. Sie kommen hauptsächlich in Indien vor, werden aber auch im Süden Nordamerikas kultiviert.

1) PFUHL, Die Jute und ihre Verarbeitung, Berlin 1891. — Die physikalischen Eigenschaften der Jute, 1888.

Die Gewinnung ist die denkbar einfachste. Die etwa 3 bis 4 m langen und bis 14 mm starken Stengel werden einer Kaltwasserröste unterworfen, welche eine rasche Auflockerung der Faser herbeiführt. Schon nach wenigen Tagen kann der Bast vom Stengel abgezogen werden, was ausnahmslos mit der Hand geschieht.

77. Eigenschaften und Handelsware.

Die so gewonnene Faser ist 1·5 bis 3 m lang, fein gespalten und wenig gefärbt. Sie ändert jedoch ihre Farbe und nimmt Färbungen bis zum dunkelsten Braun an. Die besten Qualitäten (Serajgunge) sind langfädig und von reiner Farbe, die zweite Sorte (Naraingunge) und die dritte minderwertigste (Dowrahgute) sind kürzer im Faden und dunkler gefärbt.

Jute enthält im lufttrockenen Zustand etwa 6 % Wasser und kann bis 24 % Wasser aufnehmen. Die besten Sorten neigen etwas weniger zur Wasseraufnahme. Jutegarne werden als Jutewerggarn aus kurzen kardierten Fasern oder als Jutehechelgarn aus langen gehechelten Fasern in den Handel gebracht.

Die Numerierung der Jutegarne erfolgt wie bei den Leinengarnen.

Baumwolle.[1])

78. Vorkommen und Gewinnung.

Sie wird aus den Samenhaaren verschiedener malvenartiger Pflanzen (Gossypium) gewonnen, die in Amerika, Asien und Afrika strauchartig, auch in 3 bis 5 m hohen Bäumen vorkommen. Die Samenkapseln werden am Morgen vor dem Aufplatzen gepflückt und die Haare in Egreniermaschinen von den Körnern gereinigt und dann gesponnen und aufgespult (Kreuzspulen,[2]) Kops).

Ägypten und Amerika erzeugen die beste Baumwolle. Die unter der Bezeichnung Sea Island im Handel befindliche kann bis zu 250er Garn versponnen werden. Der letzteren Produktionsmenge beträgt jedoch nur 1·5 % der gesamten amerikanischen Produktion. Indische Baumwolle und namentlich Bengalen hat die kürzeste und gröbste Faser und wird daher nur zur Mischung mit besseren Sorten verwendet oder zu niedrigen Garnnummern versponnen.

79. Länge und Dicke der Fasern.

Die Dicke der Faser schwankt zwischen 0·045 und 0·082, die Breite zwischen 0·12 bis 0·42 mm, die Länge zwischen 15 und 40 mm.

Am meisten kommen die folgenden Längen vor:

Gossypium	barbadeum,	Sea Island . . .	4·05 cm
„	„	Brasilien	4·0 „
„	„	Ägypten	3·89 „
„	arboreum,	Indien	2·50 „
„	herbaceum,	Makedonien . . .	1·82 „
„	„	Bengalen	1·03 „

80. Bezeichnung.

Der Umfang des Haspels für Baumwollengarne beträgt nach englischem Gebrauch, der auch in Deutschland üblich, 1·5 Yards; die Strähne werden Schneller genannt.

80 Fäden	= 1 Gebinde	=	120 Yards
7 Gebinde	= 1 Schneller	=	840 „
18 Schneller	= 1 Spindel	=	15120 „

1) Vgl. Nobst, Handbuch der Baumwollkultur und Industrie. — Kuhn, Die Baumwolle.
2) Vgl. Hdb. VI, 1 S. 121.

Die Feinheit wird durch Nummern bezeichnet, welche angeben, wieviel Schneller auf 1 Pfd. gehen.

In Frankreich beträgt der Haspelumfang $1^3/_7$ m:

70 Fäden = 1 Gebinde = 100 m
10 Gebinde = 1 Schneller = 1000 „

Die Anzahl der Schneller auf 0·5 kg ergiebt die Feinheitsnummer.

Über Dehnbarkeit und Qualität von Baumwollengarn vgl. Seite 61.

Seide.[1])

81. Gewinnung. Die Seidenraupe giebt beim Verpuppen aus zwei am Kopfe befindlichen Öffnungen einen dünnen klebrigen und rasch erhärtenden Faden ab, in den sie sich einspinnt und hierbei den Cocon (Galette) bildet. Die Länge des hierzu verwendeten Fadens beträgt ca. 3000 m, von denen jedoch nur 300 bis 600, selten 900 m brauchbare Seide gewonnen wird. Die Raupen werden in heisser Luft oder Wasserdämpfen getötet, um sie am Auskriechen zu hindern, wodurch der Faden unterbrochen würde. Die harzigen Bestandteile werden in heissem, 80° warmen Wasser abgelöst, der Anfang des Fadens durch Schlagen des Cocons mit Reisig losgelöst, gesucht und dann mehrere der Fäden zusammen zu einem Rohseidenfaden vereinigt und aufgehaspelt. Dieses ältere aber noch häufige (in Frankreich) Verfahren ist durch die Anwendung von Schlagmaschinen verbessert, die 25 und mehr Haspelerinnen versorgt, während früher immer auf zwei derselben eine Arbeiterin zum Schlagen kam.

82. Güte des Materials und Sorten. Die Güte der Seide hängt sehr vom Aufhaspeln ab. Die Arbeiterin muss dickere und dünnere Fäden so zusammensetzen, dass ein gleichmässiger Faden entsteht. Dies ist um so schwieriger als der vom Cocon abgewickelte Faden am Anfang stärker ist als am Ende.

Es entsteht die Trama-, Tram- oder Einschlagseide, wenn zwei oder drei rohe Fäden lose miteinander verseilt werden; die beste Ketten- oder Organsinseide wird erhalten, wenn man zwei bis acht Coconfäden zu einem Faden scharf nach rechts zusammendreht und zwei oder drei dieser wieder zu einem zusammenzwirnt.

Das Verzwirnen erfolgt stets entgegen der Drehung des Rohseidenfadens.

83. Eigenschaften und Bezeichnung. Seide ist in hohem Masse hygroskopisch und kann bis zu 30 % Wasser aufnehmen, ohne eigentliche Nässe zu zeigen. Aus diesem Grunde bestehen besondere Anstalten zur Bestimmung des Wassergehaltes (Konditionieranstalten), davon in Deutschland die in Krefeld und Elberfeld.

Die Feinheitsnummer der Seidengespinste wird durch den zehnfachen Wert der Zahl ausgedrückt, welche das absolute Gewicht eines Fadens von 1 m Länge in Milligramm darstellt; Einheitslänge 500 m, Einheitsgewicht 0·05 g (1 Denier à 24 Gran).

Prüfung der Garne.

84. Dehnbarkeit. Sie erstreckt sich auf die Dehnbarkeit, Drehung und Festigkeit. Das Garn wird in einer Länge von etwa 0·5 m geprüft; ein Ende wird fest-

1) Schmoller & Hintze, Die preussische Seidenindustrie, Berlin 1892.

gehalten. Das zweite Ende läuft über eine Rolle von 5 cm Durchmesser, die durch eine Kurbel gedreht werden kann. Dies geschieht bis das Garn reisst. Eine Teilung an der Rollenperipherie stellt die Grösse der Bewegung und somit die Länge der Dehnung fest.

Für Baumwollgarne sind bestimmte Angaben über die zulässige Dehnung vorhanden:

No.	20— 30:	4·5—5·0 %
„	30— 40:	4·0—4·5 %
„	40— 60:	3·8—4·0 %
„	60— 80:	3·5—3·8 %
„	80—120:	3·0—3·5 %.

85. Drehung.

Zwischen zwei Klemmen wird das Garn so eingespannt, dass 100 mm freie Länge bleiben. Die eine Klemme wird so lange bei ganz lose gespanntem Faden gedreht, bis die Drehung vollständig aufgehoben ist. Die Zahl der hierzu erforderlichen Drehungen ergiebt die Drehung des Materials auf 100 mm.

86. Festigkeit.

Zur Prüfung der Garne sind besondere Garndynamometer konstruiert worden, die teils durch Federkraft (Perroux, Regnier), teils durch Gewichte (Montanier, David) wirken. Die Festigkeit der Garne verhält sich bei gleichem Material umgekehrt wie ihre Nummern. Besitzt ein Garn No. 20 eine Festigkeit von 600 g, so hat No. 40 desselben Garnes nur eine solche von 300 g, während No. 1 eine 20 mal so grosse Festigkeit wie No. 20 haben wird.

Die für No. 1 ermittelte Zahl wird Qualitätszahl genannt. Sie ist für Baumwollgarne festgestellt wie folgt:

für	schwache	Qualität	4000
„	mittlere	„	5000
„	starke	„	6000
„	sehr starke	„	7000
„	Prima-	„	8000

Aus einer grösseren Anzahl von Zerreissversuchen wird die mittlere Festigkeit eines Fadens bestimmt. Diese Zahl mit der Garnnummer multipliziert ergiebt die Qualität.

Zur Feststellung der Nummer wird eine bestimmte Anzahl Garn auf einen Probehaspel gewickelt, dieser gewogen und nun auf Grund der Numerierungsart des betreffenden Garnes die Nummer festgestellt.

Leinöl.[1])

87. Gewinnung und Eigenschaften.

Aus dem Samen der Flachspflanze wird das Leinöl durch Pressen gewonnen. Beim kalten Pressen werden 20 % Öl gewonnen, während die erwärmten Samenkörner 28 % abgeben. Die erstere Art der Gewinnung liefert ein helles, die zweite ein dunkleres, bernsteinfarbenes Fabrikat.

Spezifisches Gewicht 0·93 bis 0·94. Löslich in 32 Teilen kalten und in 6 Teilen kochenden Alkohols.

1) Vgl. SONNTAG, Katechismus des Flachsbaues. — LANGER, Flachsbau, Wien 1893.

An der Luft wird Leinöl rasch hart und bildet dann eine harzartige, durchsichtige Masse. Diese Eigenschaft, welche es zur Verwendung für elektrotechnische Zwecke geeignet macht, verliert es, wenn es durch Mineralöle verfälscht wird.

Aus Leinöl wird der sogenannte Ölkautschuk oder künstliche Kautschuk hergestellt, eine plastische Masse, die durch Kochen mit oxydierenden Substanzen und verdünnter Salpetersäure gewonnen wird. Sie ist fest, kann aber in heissem Wasser erweicht werden. Ölkautschuk dient als Gummisurrogat.

Terpentin,[1]) Terpentinöl.

88. Terpentin.

Aus Terpentin, einer balsamartigen Masse, die aus Einschnitten in Nadelhölzer fliesst, werden mehrere für die Kabelindustrie wichtige Materialien gewonnen. Terpentin ist gelblichweiss, mehr oder weniger klar und besteht aus Harzen, Harzsäuren, Terpentinöl (bis 30 %), ist in Alkohol, ätherischen Ölen und Äther löslich.

89. Terpentinöl.

90. Kolophonium.

Durch Destillation mit Wasser wird das als Lösungsmittel in Kabelmassen verwendbare Terpentinöl gewonnen. Dasselbe ist löslich in 8 bis 10 Teilen Alkohol und verharzt leicht an der Luft. Findet die Destillation ohne Wasser statt, so bildet sich nach der Scheidung von den Ölen Kolophonium. Dieses Harz hat verschiedene Farbe, vom hellsten Gelb bis zum dunkelsten Rotbraun. Es wird den Kabelmassen zugesetzt und findet beim Löten Verwendung.[2])

Paraffin.[3])

91. Gewinnung.

Aus dem Teer von Torf, bituminösem Schiefer, aus Erdöl, bituminösem Asphalt wird diese Masse von weissem, wachsähnlichem Aussehen gewonnen. Sie besteht aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen. In Deutschland wird Paraffin meistens aus einer Schwelkohle hergestellt, die aus der Gegend zwischen Halle und Weissenfels stammt. Bester Braunkohlenteer liefert 17,Ranguntеer 10, javanisches Erdöl 40, Erdwachs bis 50 % Paraffin.

92. Eigenschaften und Verwendung.

Der Schmelzpunkt, der für den Preis massgebend ist, liegt zwischen 30 und 63°. Die über 50° schmelzenden Sorten werden hart, die anderen weich genannt. Erstere sind wertvoller.

Paraffin löst sich in Äther, Schwefelkohlenstoff, flüchtigen Ölen.

Spezifisches Gewicht 0·869, Schmelzpunkt 38°,
" " 0·915, " 58°.

Es wird von verdünnten Säuren und Alkalien fast gar nicht angegriffen.

Dieses Material ist äusserst wichtig als Isoliermaterial. Insbesondere werden Drähte, welche für den Instrumentenbau bestimmt sind, hiermit isoliert. Spulen u. s. w. werden nach dem Wickeln in Paraffin gekocht, ganze Widerstandskästen damit ausgegossen. Insbesondere dient es auch zur Tränkung der Papierisolierung.

1) Vgl. Winkelmann, Die Terpentin- und Fichtenharzindustrie, Berlin 1888.
2) Vgl. Hdb. VI, 2: Leitungsverbindungen.
3) Scheithauer, Die Fabrikation der Mineralöle und des Paraffins, Braunschweig 1895.

Pflanzentalg, Pflanzenwachs.

Den gleichen Zwecken wie die vorerwähnten dienen gewisse Pflanzenfette, die wegen ihres wachsartigen Aussehens Wachs (japanisches „Myrica", chinesisches Karnaubawachs) genannt werden.

93. Karnaubawachs.

Am meisten Verwendung findet Karnaubawachs. Es findet sich auf beiden Seiten der Blätter der Karnaubapalme, wird durch Schütteln der Blätter abgestreift. Schmelzpunkt 84°, spezifisches Gewicht 0·99.

94. Japanisches Wachs.

Japanisches Wachs wird durch warmes Pressen aus einigen in Japan und China wachsenden Arten des Essigbaumes (Rhus succedanea, vernicifera) gewonnen und besteht im wesentlichen aus Palmitin. Schmelzpunkt 52 bis 53° C., spezifisches Gewicht 0·98 bis 0·99.

Ozokerit.

95. Gewinnung und Verwendung.

Ein amorphes Erdwachs, welches nach Petroleum riecht. Spezifisches Gewicht 0·94 bis 0·96. Schmelzpunkt 58 bis 98°. Es ist leicht löslich in Terpentinöl und fetten Ölen. Ozokerit wird bergmännisch gewonnen, liegt in Boryslaw, dem bedeutendsten Fundort, 160 m unter Tage. Ausser seiner Verwendung zu Isoliermassen, zum Ausgiessen von Kabelarmaturen und zur Tränkung faseriger Isoliermittel wird Ozokerit auch auf Ceresin und Paraffin verarbeitet.

Wie bei dem letzteren steigt der Wert bei höherem Schmelzpunkt.

Bitumen, Asphalt, Bergteer.

96. Arten und Vorkommen.

Bitumen[1]) ist im allgemeinen jede Form des Kohlenwasserstoffes vom Petroleum bis zur asphalthaltigen Kohle. Für Isolierzwecke sind jedoch nur folgende drei Formen bemerkenswert: Das eigentliche Bitumen (Juden- oder Trinidadpech), Asphalt und mineralischer Teer.

Das beste und reinste Bitumen liefert der Trinidadsee, welcher früher ein Schlammvulkan gewesen ist. Der Trinidadsee soll circa 9 000 000 t Bitumen enthalten und durch einen jährlichen Zufluss von etwa 20 000 t ergänzt werden.

Das unter der Bezeichnung gereinigtes Bitumen in den Handel gebrachte Material enthält in seinem Rohzustande bis zu 35 % mineralische Verunreinigungen und 33 % Wasser. Dasselbe wird gepulvert, der Sonne ausgesetzt und dann einer oberflächlichen Reinigung unterzogen.

Das natürliche Bitumen ist amorph, braunschwarz und hat ein spezifisches Gewicht von 0·95 bis 1·5 (je nach mineralischen Verunreinigungen); der Schmelzpunkt liegt dementsprechend zwischen 80 und 320° C.

Ist das Material von Wasser, mineralischen Substanzen, flüchtigen Ölen und freiem Schwefel gereinigt, sieht es pechähnlich schwarz aus und hat ein spezifisches Gewicht von 1·032 und einen Schmelzpunkt von circa 100° C.

97. Verwendung.

Durch Beimengung von 5 bis 20 % Schwefel wird das Bitumen vulkanisiert und in diesem Zustande als Isoliermaterial in Kabeln gebraucht. Als Zusätze

1) ETZ 1904, S. 94.

werden auch bestimmte Öle und Teer verwendet; die Menge derselben richtet sich aber stets nach dem Verwendungszweck. Von Wichtigkeit ist jedoch, dass beim Mischen keine lokale Überhitzung in der Masse eintreten darf, da sich dadurch koks- bezw. kohlenstoffhaltige Teile bilden, durch welche die Isolierfähigkeit herabgesetzt wird. Vor der Wahl der Beimengungen wird man auch berücksichtigen müssen, ob nicht etwa chemische Reaktionen auftreten, welche die Isolierfähigkeit illusorisch machen könnten.

Um die Kosten des Bitumens als Füllmasse für Kabelkanäle und Muffen herabzusetzen, wird dasselbe auch mit indifferenten Stoffen, wie Gips, Thon u. s. w. vermischt. Da aber zu befürchten ist, dass die Masse hierdurch hygroskopisch wird, kann man rohes Bitumen zu diesen Zwecken nicht verwenden; unter Witterungseinflüssen würden alkalische Beimengungen hygroskopisch und infolge allmählicher lokaler Zersetzungen brüchig werden.

Infolge der dielektrischen Eigenschaften des Bitumens kann dasselbe nur für Niederspannung als Isoliermaterial benutzt werden und es findet daher auch besonders bei Verlegung von Niederspannungsleitungen Verwendung. Von einigen Firmen wird es auch als Isoliermaterial in Kabeln verwendet. Für die Kabelfabrikation muss das Bitumen natürlich besonders sorgfältig und elastisch hergerichtet werden, damit es beim Biegen nicht bricht.

Asphalt[1]) ist ein Mineralöl von schwarzer Farbe. Spezifisches Gewicht 1·1 bis 1·2, Schmelzpunkt 100°. Löslich in Petroleum, Benzin, Terpentin. Hauptsächlichster Fundort Trinidad. (Trinidadasphalt ist besonders gut zu verwenden für die Fussböden von Akkumulatorenräumen.[2]) Am Toten Meer wird entgegen der allgemeinen Angabe wenig Asphalt gefunden.

Bergteer (aus Steinöl gebildet) durchdringt Kalkstein und bildet den sogenannten Asphaltstein, aus welchem ebenfalls Asphalt gewonnen wird. Eine Mischung aus pulverisiertem Asphaltstein und Bergteer oder statt des letzteren eine Mischung von Trinidadasphalt und Erdöl ergiebt Goudron.

Verfälschung findet durch Zusätze von Stein- oder Braunkohlenteer statt.

Teer, das trockene Destillationsprodukt organischer Körper. Hauptsächlich findet Holzkohlen- und Steinkohlenteer Verwendung. Ersteres verdient den Vorzug, doch ist das letztere, wenn gereinigt, ebenfalls gut verwendbar.

Die Isoliermaterialien für Apparate.

Für den Aufbau elektrischer Apparate werden meistens Vertreter des Mineralreiches verwendet, mit Ausnahme von Holz und Hartgummi.[3])

Holz

98. wurde früher nicht nur für die Grundplatten der Apparate, für Schalttafeln,[4]) sondern auch als Isoliermittel zur Verlegung der Leitungen verwendet. Die arg angefeindeten Holzleisten sind noch nicht völlig verschwunden, hölzerne

1) Jeep, Der Asphalt, Weimar.

2) Pohl, Montage elektrischer Anlagen, Hannover 1903, S. 33.

3) Die Fabrikation des viel verwendeten Porzellans wird in Hdb. VI, 2 ausführlich gleichzeitig mit der Fabrikation der Isolierglocken beschrieben.

4) Hdb. VI, 2: Schalttafeln.

Schalttafeln zieren noch unsere Zentralen und auch die heutigen Sicherheitsvorschriften lassen Holz in gewissen Fällen noch zu.[1])

Hartgummi,

dessen Herstellung vorher beschrieben wurde, wird für Starkstromzwecke verhältnismässig wenig verwendet. Der Versuch, dieses Material wegen seiner guten elektrischen Eigenschaften auch für die Isolierung von Apparaten und Leitungen für Hochspannung zu verwenden, scheiterte, da es durch das in Hochspannungsanlagen unvermeidliche Ozon angegriffen wird und eine leitende Oberfläche erhält. **99.**

Für viele Zwecke ist

Pressspahn,

eine besonders dicht hergestellte Pappe, verwendet worden. Vielfach tritt jetzt aber an seine Stelle Glimmer und Mikanit, da Pressspahn geneigt ist, Feuchtigkeit aufzunehmen. Er darf daher auch in feuchten Räumen keine Verwendung finden. **100.**

Marmor,

eines der am meisten verwendeten Isoliermittel. Marmor wird grösstenteils in weisser Farbe, seltener bunt, dann aber meistens rot verwendet. Schwarzer Marmor, dessen elektrische Eigenschaften ebenso günstig sind wie die des weissen, kommt wegen seiner Härte und seines hohen Preises selten in Frage. **101.**

Marmor wird stets in Platten verwendet, deren Stärke nie weniger als 20 cm beträgt. Für schwerere Apparate und Schalttafeln werden Stärken von 25, 30 mm oder auch darüber gewählt.

Die Platten werden poliert; Schalttafeln meistens nur auf der Vorderseite. Ist der Marmor nicht poliert, so hat er eine rauhe Oberfläche, welche leicht Feuchtigkeit sammelt und festhält. Infolgedessen isolieren derartige Marmortafeln in feuchten Räumen weniger gut. Vielfach werden die unpolierten Platten mit einem Isolierlack überzogen, wie es neuerdings auch die Sicherheitsvorschriften verlangen.

Gewisse Marmorsorten enthalten Metalladern und sind daher in der Elektrotechnik unverwendbar, insbesondere sind dies die marmorierten Sorten; indessen sind auch in reinweissem Material derartige störende Adern gefunden worden.

Das Material springt leicht aus, es muss daher vorsichtig gebohrt, alle Ecken, wenn möglich, abgerundet werden. Aus diesem Grunde bohre man Löcher auch mindestens in solcher Entfernung vom Rande, wie der Plattendicke entspricht.

Schiefer

wird viel angefeindet, da er zu viel Metalladern enthalten soll. Er ist indessen besser als sein Ruf und bei geeigneter Auswahl für Spannungen bis 750 Volt sehr gut verwendbar. **102.**

Bezüglich der Plattenstärke u. s. w. gilt das gleiche, was bei Besprechung des Marmors gesagt wurde.

---

1) Vgl. Hdb. VI, 2: Die Feuersicherheit elektrischer Anlagen.

Glimmer und Mikanit.

103. Glimmer.

Glimmer ist ein Silikat vom spezifischen Gewicht 2·7 bis 3. Es kann fast jede der zahlreichen Glimmerarten (Biotit, Phlogopit, Lepidolith, Muskovit, Paragonit, Margarit u. s. w. u. s. w.) zu Isolierzwecken Verwendung finden. Einzelne Arten, sowie einzelne Stücke der genannten enthalten Metalladern und sind daher unverwendbar. Die Beimengungen von Eisenoxyd sind bedeutungslos. Grössere Glimmerstücke sind selten und kaum in grösseren Längen wie 20 cm zu haben.

Das Material ist leicht spaltbar und lässt sich leicht in die gewünschten Dimensionen bringen. Die Schwierigkeit, grössere und sprungfreie Stücke zu finden, führte dazu, den Glimmer zu spalten und wieder zu grösseren Stücken zu vereinigen. Es entstand hierdurch das viel verwendete Mikanit, welches an Isolierfähigkeit dem Glimmer wenig nachsteht. Als Klebemittel wird Schellack verwendet, von dessen Menge auch die Isolierfähigkeit abhängt.

104. Mikanit.

105. Einfluss von Öl auf die Isolierfähigkeit.

Die Isolierfähigkeit von Glimmer und Mikanit wird durch die Einwirkung von Öl wesentlich beeinträchtigt, wie Untersuchungen von T. O. Moloney[1]) zeigen.

Eine zwischen zwei ebene Platten gebrachte Glimmerplatte gewisser Dimensionen widersteht einer Spannung von 16 000 Volt Wechselstrom, ohne durchschlagen zu werden. Wird die Glimmerplatte jedoch mit einer schwachen Paraffinölschicht bedeckt und dann zwischen die Platten gebracht, so wird sie bereits bei 9000 Volt Wechselstrom durchschlagen.

Bei einem anderen Versuche mit einer Platte aus indischem Glimmer widerstand diese in trockenem Zustande einem Wechselstrom von 8000 Volt, wurde aber schon bei 4000 Volt durchschlagen, wenn sie vorher in Öl getaucht wurde. Bei Anwendung von Leinöl und gewöhnlichem Schmieröl zeigten sich dieselben Resultate, doch wurde die Isolierfähigkeit des Glimmers durch Eintauchen in Wasser nicht beeinträchtigt.

Man wird also Glimmer vor jeglicher Berührung mit Öl schützen müssen, wenn es z. B. als Dielektrikum für Kondensatoren oder in ähnlichen Fällen verwendet wird.

Asbest.

106.

Der Wunsch, ein Isoliermittel zu haben, welches höheren Wärmegraden zu widerstehen vermag, führte zur Verwendung von Asbest, und zwar wurden nicht nur Asbestplatten beim Apparatebau verwendet, sondern es wurde in geeigneter Form auch zur Isolierung der Leitungen herangezogen. Asbest ist indessen hygroskopisch und daher nur in beschränktem Masse verwendbar.

Asbest ist ein Silikat und immer in der Nähe anderer Silikate, so z. B. des Glimmers, zu finden. Seine Zusammensetzung ist schwankend, es enthält aber stets Wasser. Genannt seien Bergflachs (lange, feine und biegsame Fasern), Amiant, schillernder, gemeiner Asbest, Bergkork.

Der Asbest wird zerquetscht, in Wasser aufgeweicht, im Reisswolf aufgelockert, gekrempelt und zu Garn verarbeitet, oft unter Zusatz von Baumwolle, wodurch aber die Unverbrennlichkeit geringer wird.

---

1) Electr. Review, New York 1900.

Asbestplatten werden nach Zerkleinerung auf Papiermaschinen erhalten, jedoch unter Anwendung starker Pressen, da das Wasser sonst nicht zu entfernen ist.

In Verbindung mit Hartgummi ergiebt Asbest den für Isolierzwecke verwendeten Vulkanasbest, dem insbesondere seine Feuerbeständigkeit nachgerühmt wird. Diese wird mit dem Gehalt an Hartgummi wahrscheinlich stark schwanken, während andererseits der Isolationswert aller Asbestverbindungen nicht in allen Fällen ausreichend erscheint.

Ambroin

107. wird aus Kopalen und Silikaten hergestellt. Die Kopale (Kieselkopal, Dammaraharz u. s. w.) werden in Alkohol, Äther, Terpentinöl gelöst und dann mit Silikaten (Glimmer, Asbest) in der Lösung so lange getränkt, bis sie völlig durchzogen sind. Die Masse wird teigartig, wird dann in Mischmaschinen bearbeitet und dann in der Luftleere getrocknet, und zwar in der gleichen Art, wie Kabel getrocknet werden. Hierbei werden die zur Lösung der Kopale verwendeten Mittel wiedergewonnen. Die hart getrocknete Masse wird zerrieben und dann in beliebige Formen gepresst, wobei sie einem Druck von 400000 kg ausgesetzt wird. Da die Masse nicht schwindet, ist eine spätere Bearbeitung nicht erforderlich.

Ambroin wird in verschiedenen Sorten hergestellt, die nach dem Verwendungszweck als hitzebeständig, säure- oder alkalifest empfohlen werden.

Das Material lässt sich wie Hartgummi bearbeiten, übertrifft dasselbe aber in Bezug auf Festigkeit.

Infolge des Gehaltes an Asbest (siehe diesen) nimmt das Material Feuchtigkeit auf.

Speckstein (Steatit, Schmeerstein)

108. ist ein Mineral aus der Ordnung der Silikate (Talkgruppe) und bildet die kryptokristallinischen Varietäten des Talkes. Er ist meist derb, eingesprengt, in nierenförmigen oder knolligen Massen, von weisser Farbe, rötlich, grünlich und gelblich, matt, nur im Striche glänzend und an den Kanten durchscheinend. Speckstein fühlt sich fettig an. Ungeglühtes Material hat eine geringe Härte (1·5); diese steigert sich jedoch nach dem Glühen bis zur Fähigkeit, Glas zu ritzen.

Der Fundort des Specksteines ist Göpfersgrün, unweit Wunsiedel im Fichtelgebirge, wo er ein Lager zwischen Glimmerschiefer und Granit bildet. Er hat eine sehr vielseitige Verwendung: hervorgehoben sei, dass Speckstein auch als Zusatz zur Porzellanmasse u. s. w. Verwendung findet.

Chinesischer Speckstein (Agalmatolith) hat eine ähnliche Verwendung und unterscheidet sich von dem vorbeschriebenen durch grössere Härte (2 bis 3) und dunklere Färbung.

Fabrikation elektrischer Leitungen und Kabel.

Allgemeines.

109. Allgemeines über die Zusammensetzung und Verlegung der Kabel.

Für den Aufbau elektrischer isolierter Leitungen kommt zumeist die Isolierung mit Gummi, Guttapercha, Ozokerit in Frage. Besonders Gummi wird mit Vorliebe verwendet. Hierzu kommen noch die verschiedensten Vorsichtsmassregeln, welche den Leiter gegen Oxydation, und diejenigen, welche die Isolierung gegen chemische und mechanische Verletzungen schützen sollen.

In Bezug auf Konstruktion und Verlegung von Kabeln hat sich die Praxis in den letzten Jahren nach verschiedenen Richtungen hin entwickelt. So sind verschiedene Arten der Kabelverlegung und Kabelkonstruktionen, welche noch vor zehn Jahren als mustergültig angesehen wurden, heute als unzweckmässig erkannt und werden daher nicht mehr verwendet. Auffallend ist z. B., dass Kautschuk zur Verwendung als Isoliermaterial für stärkere Kabel kaum noch in Frage kommt. Möglich ist, dass hieran der fortlaufend steigende Preis des Kautschuks schuld ist, doch werden auch Kautschukkabel fast nie mehr verlangt und von den Fabrikanten selten offeriert.

Für dünnere Kabel und für Prüfleitungen wird allerdings öfter noch Kautschuk verwendet, für stärkere kommen aber andere Isoliermittel, vorzugsweise Jute und Papier, in Gebrauch.

Die Zusammensetzung der Kabel ist gewöhnlich die folgende:

Von der Mitte beginnend hat man zuerst die Leitung aus elektrolytischem Kupfer, welche je nach Erfordernis aus einem oder mehreren Drähten gebildet ist. Als stärkster Draht für isolierte Leitungen kommt solcher von 16 bis 25 mm^2, also circa 6 mm Durchmesser, in Betracht; wird ein grösserer Querschnitt verlangt, so werden mehrere Drähte zu einer Litze und diese eventuell zu einem Seil von erforderlichem Querschnitt vereinigt. Der Leiter wird verzinnt, wenn die Art der Isolierhülle eine chemische Einwirkung auf das Kupfer befürchten lässt. Der Leiter wird mit einer Isolierschicht umgeben, die meist aus mehreren isolierenden Stoffen zusammengesetzt und je nach der Spannung verschieden stark ist. Als bestes Isoliermaterial ist Gummi oder Guttapercha anzusehen, doch erfordert die Verwendung dieser Materialien einen zu grossen Kostenaufwand und es werden daher billigere Mittel verwendet und die Isolierschicht dann mit einem Bleimantel versehen, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern. Sind irgend welche chemischen Einflüsse zu befürchten, so wird der Bleimantel mit einem Zusatz von Zinn versehen, welcher jedoch nicht höher als 3 $^0/_0$ sein darf, um das Kabel nicht unbiegsam und den Mantel nicht hart und brüchig zu machen. Enthält der Erd-

boden, in welchem das Kabel verlegt werden soll, Humus, Säure, Zement, Kalk oder andere chemische Substanzen, so erhält der Bleimantel eine imprägnierte Papier- oder Juteschicht, eventuell auch eine Gummi- oder Guttaperchaschicht.

Erfahrungsgemäss sind die verlegten Kabel, besonders in den Strassen der Städte, mehr oder weniger grossen Gefahren ausgesetzt, veranlasst durch öfteres Umwühlen des Strassenkörpers und damit verbundene Pickenhiebe, Spatenstiche, Rohrbrüche, Bodensenkungen u. s. w., andererseits leiden sie aber auch schon bei der Montage, dem Verlegen und Transport, durch Zerren und Quetschungen. Die Kabel erhalten daher eine Panzerung, die aus einer spiralförmig gewundenen Bandeisen- oder Drahtarmatur besteht. Die oxydierenden Einflüsse auf diese werden durch eine weitere Schutzhülle, bestehend aus imprägnierten Stoffen (Jute u. s. w.) beseitigt.

Die Eisen- bezw. Stahlbandarmierung des Kabels hielt man bis vor wenigen Jahren als ausreichenden Schutz, doch kann man diese Anschauung heute nicht mehr als massgebend betrachten. Einen Schutz gegen mechanische Einwirkung bietet diese Armierung schon insofern nicht, als Erfahrungen gelehrt haben, dass stahlbandarmierte Kabel beinahe ebenso leicht durch Pickenhiebe verletzt werden als unarmierte. Man hat daher einen weiteren Schutz des Kabels dadurch angestrebt, dass man dasselbe bei der Verlegung durch eine laufende Schicht von Ziegelsteinen bedeckt und ist dabei von der Annahme ausgegangen, dass bei späteren Aufgrabungen der Arbeiter zuerst mit der Picke auf den Stein stösst und dadurch zur Vorsicht bei Fortführung seiner Arbeiten gemahnt wird.

Ferner ist auch durch die Stahlbandarmierung kein genügender Schutz erreicht worden, wenn im Boden Stoffe enthalten waren, die das Stahlband sowohl wie eine compoundierte Beklöppelung zerstörten. Im nicht verseuchten Erdboden bewähren sich allerdings eisenarmierte Kabel ganz vortrefflich, doch kann durch irgend welche chemischen Eingriffe die Armierung und nach derselben der Bleimantel und das ganze Kabel zerstört werden. Dies ist ein Grund, die Kabel in besondere Kanäle und Rohre zu verlegen und sie vor der direkten Berührung mit dem Erdboden zu schützen. [1])

Für Niederspannungskabel werden meistens die stärksten Kabelquerschnitte angewendet; die Isolierhüllen sind gewöhnlich dünn, da die Spannung etwa 700 Volt nicht übersteigt. Die Isolierung besteht meistens aus Jute, Hanf oder Baumwolle, aus denen die Feuchtigkeit mittels Wärme oder Vacuum oder beider entfernt wird und welche dann mit irgend einer Komposition getränkt werden, die aus Substanzen wie Harz, Erdwachs, Öl, Ceresin, Terpentin u. s. w. besteht. Der Zweck dieser Imprägnierung ist immer der, die Faserstoffhülle gegen Aufnahme von Feuchtigkeit zu schützen. Sobald ein Kabel weniger mechanischen Einflüssen ausgesetzt ist, wird dasselbe nur mit imprägnierter Faser- oder Stoffisolierung (eventuell mit Bleimantel) bezw. Gummi- und darüber befindlicher Stofflage versehen.

Die von den einzelnen Kabelfabriken hergestellten Systeme nach eigenen Patenten. beruhen hauptsächlich auf dem Prinzip, bei möglichster Sparsamkeit an Isoliermaterialien eine thunlichst grosse Anzahl einzelner, gegeneinander isolierter Leiter zu vereinigen.

Kabel für Durchkreuzung von Flussläufen oder für Bergwerke erhalten in schwierigen Fällen neben der spiralförmigen Eisenbandarmierung, die doppelt

1) Näheres siehe Hdb. VI, 2: Kabelverlegung.

übereinander angeordnet wird, um die sich bildenden Lücken zu überdecken, noch eine Drahtarmatur, um eine grosse Zugfestigkeit zu erreichen.

Die Hochspannungskabel weichen von der Konstruktion der Gleichstromkabel wenig ab, doch haben sie geringere Kupferquerschnitte und eine stärkere Isolierhülle, letztere besonders, um ein Durchschlagen der hochgespannten Ströme auszuschliessen. Indessen genügt, wie an anderer Stelle bereits besprochen, nicht die Verstärkung der Isolierung allein, um die Gefahr des Durchschlagens zu beseitigen, vielmehr ist die Art der Isolierung ausschlaggebend.

Die für Hochspannungskabel verwendeten Isoliermaterialien müssen sorgfältig ausgewählt sein und man darf bei der Berechnung der Isolierdicke nicht allein die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen Durchschlag berücksichtigen. Während der Fabrikation und Verlegung sind Biegungen des Kabels nicht zu umgehen und es können, besonders bei geringerer Temperatur, Brüche im Isoliermaterial entstehen, an denen ein Durchschlagen des Stromes erfolgt. Ein zuerst erscheinender Funke kohlt an solchen Stellen zuerst das Isoliermaterial an und vergrössert diese Stellen fortgesetzt, bis ein Kurzschluss entsteht. Man verwendet daher zur Vermeidung derartiger Übelstände, besonders an Wechselstromkabeln für höhere Spannungen, ein Isoliermaterial, welches den Eigenschaften des Gummis möglichst gleichkommt, und zwar in einer Stärke von 5 bis 6 mm, gegenüber der theoretischen von 0·5 mm.

Für die Anlagen am Kaiser Wilhelm-Kanal, welche mit 7000 Volt arbeiten, für die Deptforder Anlagen mit 10 000 Volt u. s. w. wurde noch Gummi und Guttapercha als bestes Isoliermittel gewählt, indem über die Gummischicht eine Guttaperchaisolierung gelegt wurde, um die Poren u. s. w. im Gummi zu verdecken. Diese dünneren Schichten erforderten im allgemeinen keinen grösseren Kostenaufwand für die Armierung, da bei gewöhnlicher Isolierung ein grösserer Durchmesser des Kabels zu berücksichtigen ist und die Kosten für das Deckmaterial in diesem Falle denen für die Gummiisolierung nicht nachstehen.

Schon vor zwölf Jahren ist das erste Papierkabel in Form von konzentrischen Kupferröhren von FERRANTI in London verlegt worden. Dieses hat sich jedoch zu wenig bewährt und musste anderen Kabeln Platz machen, die aber auch Papierisolierung hatten. Zu einer praktischen Entwickelung dieser Kabel haben erst die Erzeugnisse der British Insulated Wire Co. geführt, welch letztere auch durch ihre Patente ein Monopol für diese Kabel bis vor wenigen Jahren gehabt hat. Nachdem jedoch die Patente abgelaufen sind, wird auch von allen anderen Fabriken für die Herstellung der Kabel Papier allein oder in Verbindung mit anderen Materialien verwendet.

Es ist nicht in allen Fällen gelungen, ein Material herzustellen, welches die erforderlichen geringen hygroskopischen Eigenschaften hat, und es musste daher auf eine ganz besondere Dichtigkeit des Bleimantels gesehen werden. Ist derselbe an einer Stelle etwas schadhaft und lässt Feuchtigkeit eintreten, so wird diese auf beiden Seiten des Fehlers eine grössere Länge des Kabels unbrauchbar machen. Die Reparaturen sind aber sehr kostspielig. Ausserdem müssen die Endverschlüsse bei Verwendung dieser Isoliermaterialien ganz besonders sorgfältig und wasserdicht hergestellt werden.

119. Allgemeines über die Isolierfähigkeit.

Sämtliche für Starkstrom verwendeten Kabel werden vor der Verlegung auf ihre Isolierfähigkeit unter Spannung geprüft. Die Höhe der Isolierfähigkeit muss der Stärke des durch die Isolierhülle gehenden Stromes umgekehrt proportional sein, während die Prüfspannung, je nach dem Sicherheitskoeffizienten, der erforderlich ist, die mehrfache Betriebsspannung betragen muss.

Die Isolierfähigkeit wird stets in Megohm (1 Million Ohm), unter Berücksichtigung einer bestimmten Temperatur, ausgedrückt, da alle Isoliermaterialien bei höherer Temperatur geringere Isolierfähigkeit haben als bei niedrigerer Temperatur; man nimmt als Mittel zumeist 15° C. an.

Wenn man bei einem Kabel von 1 km Länge eine Isolation von 2000 Megohm bei 15° C. feststellt, so bedeutet dies, dass der Gesamtwiderstand, der dem durch die Isolierhülle gehenden elektrischen Strom auf der Strecke von 1 km entgegengesetzt wird, 2000 Millionen Ohm beträgt, oder es würde bei einer Betriebsspannung von 2000 Volt auf 1 km Kabel ein Stromverlust von $\frac{2000}{2000 \times 10^6}$, also $= {}^1/_{1000000}$ Ampere kommen.

Im allgemeinen werden von Niederspannungs- und Hochspannungskabeln 500 und 1000 Megohm für den Kilometer gefordert, doch werden diese Isolationswerte meistens erheblich überschritten.

111. Allgemeines über die Verlegung.

Wenn auch diese Werte vor Verlegung der Kabel gefordert und erreicht werden, so erleiden dieselben nach erfolgter Verlegung eine wesentliche Verminderung insofern, als Verbindungsteile, einerseits zur Verlängerung, andererseits zu Abzweigungen, notwendig werden. Von den früher üblichen Lötverbindungen ist man abgekommen und verwendet die sicheren Muffenverbindungen, in denen die Kupferleiter durch Klemmen verbunden werden. Um die Verbindungsstellen greifen gusseiserne Muffen, die durch nichthygroskopische isolierende Masse ausgegossen werden.

Für Abzweigungen von der Hauptleitung finden Verteilungskästen Anwendung, und zwar an Punkten, von denen mehrere Kabel verschiedener Querschnitte den Strom nach verschiedenen Richtungen leiten müssen.

Um an solchen Speisepunkten die Spannung bezw. den Stromverlust kontrollieren zu können, werden die einzelnen Kästen bis zur Zentrale mit einer sogenannten Prüf- oder Messleitung verbunden. Sie ist meistens in dem Hauptkabel enthalten und von der Kupferlitze durch eine dünne Isolierschicht abgetrennt und endet in einem Voltmeter. Da dieser Prüfdraht bei richtiger Schaltung nur die durch den Spannungsverlust entstehende Spannungsdifferenz, die immer nur einige Volt beträgt, aufzunehmen hat, so genügt eine verhältnismässig dünne Isolierung vollkommen.

Bei Hochspannungsleitungen wird der Prüfdraht gewöhnlich aus mannigfaltigen Gründen nicht mit ins Kabel zwischen die Hauptleitungen eingebettet; man verwendet an Stelle dessen besonders verlegte Prüfkabel.

Die Herstellung des Leitungsdrahtes.

112. Anordnung und Antrieb von Drahtziehereien.

Die Zieherei von Kupferdrähten für elektrische Zwecke weicht von der anderer Sorten wenig oder gar nicht ab; es würde zu weit führen, wenn dieses Gebiet, welches viel Interessantes bietet, hier ausführlich besprochen werden sollte.

Es soll daher nur kurz der Vorgang dargestellt werden, indem ein für diese Zwecke ausgeführtes Walzwerk beschrieben wird. Wir folgen einer kürzlich erfolgten Veröffentlichung.[1])

Die moderne Drahtzieherei wird mit elektrischer Energie betrieben und ist für Einzelantrieb ausgerüstet. Jede Maschine arbeitet unabhängig von der anderen, so dass etwaige Störungen nicht auf einen grösseren Betriebszweig ausgedehnt werden.

1) E. A. 1903, S. 2378.

Die Fabrikation ist je nach der Stärke der hergestellten Leitungen eine sehr verschiedene und demzufolge auch die in Frage kommenden Maschinen verschiedener Konstruktion. Je nach dem Querschnitt der Drähte verwendet man: Grobzüge, Mittelgrobzüge, Mittelfeinzüge und Feinzüge.

113. Das Walzen.

Das Kupfer erhält die erste Verarbeitung im Walzwerk, und zwar werden Blöcke von circa 0·90 bis 1 m Länge und circa 0·90 m Durchmesser zuerst in einem Wärmeofen bis auf eine Temperatur von circa 800 ⁰ erhitzt, um dadurch den sogenannten plastischen Zustand zu erhalten. Der Herdofen wird mit Gas- oder Kohlenfeuerung geheizt und hat an den Seiten Thüren zum Hereinlegen und Herausnehmen der Kupferbarren. Sind dieselben genügend erwärmt, werden sie durch eine Laufkatze nach der Blockwalze transportiert, um dort eine Reihe verschiedener, immer enger werdender Kaliber zu passieren. Die Walze wechselt mit ovalem und vierkantigem Querschnitt ab, um eine bessere Streckung des Walzmaterials zu erreichen.

Das Walzstück ist nun bereits drahtartig hergestellt und passiert jetzt die Drahtwalze *B* (Fig. 11), wo es die erforderliche Dimension erhält. Die Kaliberquerschnitte der Walzen *c*, *d*, *e* und *f* wechseln auch hier in der angegebenen Weise ab, und zwar in der Folge, dass bei der letzten Walze *g* die Kaliber rund sind. Wenn der Walzdraht in Fig. 11 bei der Drahtwalze *B* in ununterbrochenem Zustande eingezeichnet ist, so ist auf den wirklichen Vorgang insofern Rücksicht genommen, als das Walzstück, sobald es auf der einen Seite heraustritt, von dem Arbeiter mit der Zange erfasst und sofort wieder in die nächste Walze gesteckt wird. Die Leistungsfähigkeit wird dadurch auf das äusserste gesteigert. Zwischen den Walzen *d* bis *e* und *f* bis *g* führen sogenannte Selbststecher S_1 und S_2 den Draht automatisch von einer Walze zur anderen, und zwar schiesst der mit grosser Schnelligkeit ankommende Draht die Rinne entlang und wird von der nächsten Walze selbstthätig erfasst. Die letzte Walze *g* trägt mehrere Kaliber zur Herstellung von Drähten oder Stangen verschiedener Durchmesser. Man ersieht aus der Zeichnung, dass mit Ausnahme der Walze *a* überall Rohrstücke *r* angebracht sind, welche ein Drehen des Walzstückes verhindern sollen und die den genauen Querschnitt des Walzenprofils besitzen.

Der Draht schiesst nach Passieren des letzten Kalibers der Walze *g* durch das Rohr *h* nach dem Aufwickelhaspel *H*, auf welchem der fertig gewalzte Draht automatisch zu einem Ring gewickelt wird. Der Haspel läuft ununterbrochen und ist so konstruiert, dass der Ring nach dem Aufwickeln frei auf einer stillstehenden Trommel liegt, welche in heruntergelassenem Zustande ein stetes Fortnehmen des Drahtringes zulässt. Der Haspel wird durch einen kleinen Elektromotor besonders angetrieben. Für die Blockwalze wird eine motorische Kraft von 200 PS bei 100 Umdrehungen pro Minute gebraucht, hingegen beansprucht die Drahtwalze 600 PS bei 400 Minuten-Umdrehungen.

Die beschriebene Walzenanlage kann bei zehnstündigem, flotten und ununterbrochenen Betrieb und geschicktem und eingearbeitetem Personal bis zu 30000 kg Kupfer verarbeiten.

114. Das Ziehen.

Wie bereits erwähnt, ist die Fabrikation starker Drähte von der dünner Drähte ganz verschieden und es sei daher auf die Herstellung der Grobzüge für starke Leitungsdrähte von 13 mm bis 6 mm hingewiesen. Das Prinzip eines Grobzuges beruht im wesentlichen auf der Zugmaschine, der vertikal angeordneten Ziehtrommel, welche sich direkt über der Tischplatte bewegt

und von einem Elektromotor angetrieben wird, dem Zieheisenhalter an einer Ecke der Tischplatte mit dem Zieheisen sowie dem Abwickelhaspel.

Durch das Zieheisen erfahren die Drähte die Verjüngung und Streckung, und zwar kann die Verjüngung bei jedesmaligem Durchziehen 0·5 bis 1·5 mm betragen, wozu eine Zugkraft am äusseren Umfang der Ziehtrommel von circa 2000 kg bei einer Ziehgeschwindigkeit von 1 m pro Sekunde erforderlich ist, was einer motorischen Leistung von circa 20 PS entspricht. Während des Ziehens wickelt sich der Draht von dem Abwickelhaspel ab und bei der Ziehtrommel auf. Hat der Draht noch nicht den richtigen Durchmesser, so wird er von der Ziehtrommel nochmals auf den Abwickelhaspel gelegt, und zwar wiederholt sich dieser Gang so oft, als der Draht durch das Zieheisen gezogen werden muss, um den gewünschten Durchmesser zu erhalten.

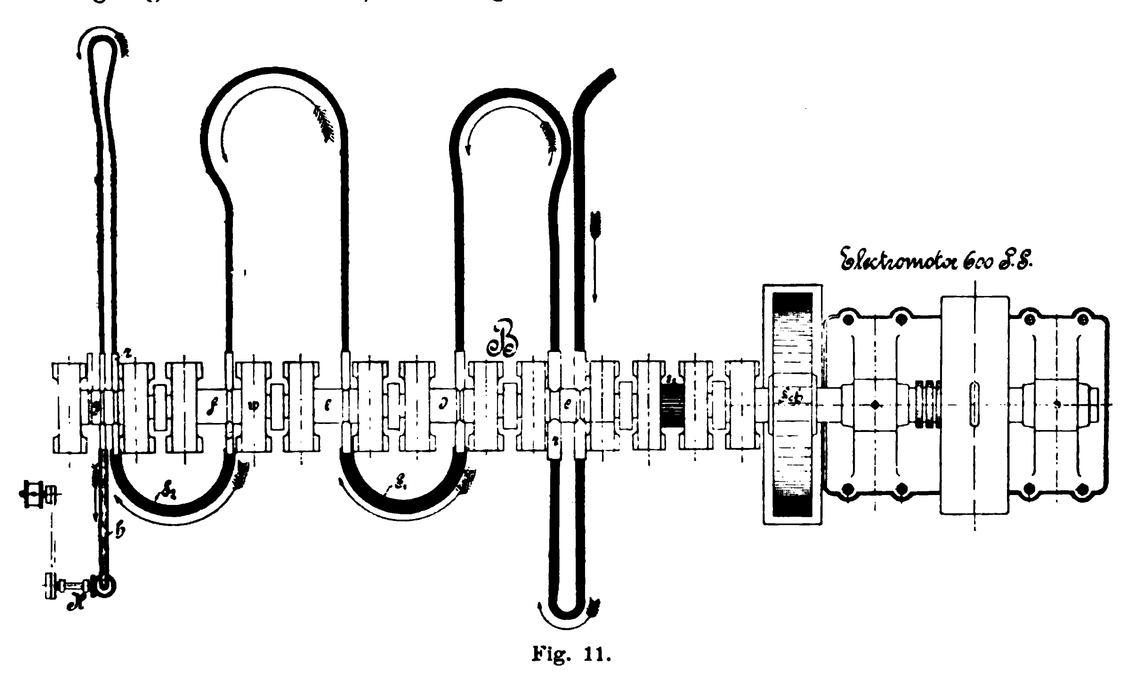


Fig. 11.

Um den Draht bei einem neuen Zuge durch das Zieheisen zu bekommen, muss der Arbeiter denselben auf einer Anspitzmaschine in einer Länge von circa 100 mm anspitzen. Der Arbeiter benutzt alsdann eine Zange, welche mit mehreren GALLschen Kettengliedern versehen ist und sich beim Drehen der Ziehtrommel auf diese aufwickelt. Die Trommel macht dann drei Umdrehungen und wird dann ausser Betrieb gesetzt, indem sie durch einen Fusshebel angehoben wird; sie wird dadurch von der Antriebswelle gelöst und die Zange, welche den Draht gefasst hält, von der Zugkraft entlastet. Nun wird die Zange entfernt und das Drahtende selbst an der Trommel festgeklemmt.

Es sei nunmehr auf den Drahtzug zur Herstellung von TROLLEY-Drähten für elektrische Bahnen hingewiesen. Derselbe gehört auch zu den Grobzügen, da hier auch Leitungsdrähte in Stärken von 8, 10 und 11 mm in Frage kommen. Die Fabrikation ist von derjenigen der vorbeschriebenen Grobzüge wiederum verschieden und hauptsächlich dadurch, dass die hier zur Herstellung kommenden Drähte von grösserer Härte und Länge sein müssen. Das Material besitzt einen Kupfergehalt von 98 %, welches auf elektro-

lytischem Wege aus den Erzen gewonnen wird. Der Walzprozess des Materials ist der gleiche wie der der anderen Leitungsdrähte, doch wird nur bis auf eine Stärke von 22 mm gestreckt. In ziemlich erkaltetem Zustande wird dann der Draht noch einmal durch die Walze geschickt, damit derselbe im Walzwerk noch eine ziemliche Härte erhält. Die Anfertigung der TROLLEY-Drähte erfolgt in einzelnen Fällen bis auf eine Länge von 2000 m. Da aber im Walzwerk schwerere Barren als 100 kg nicht verarbeitet werden, weil man grössere Längen von mehreren 100 m nicht handhaben kann, so werden einzelne Drahtringe zusammengelötet. Dies geschieht in der Weise, dass der 20 mm starke TROLLEY-Draht auf einer Band- oder Kreissäge schräg geschnitten und die beiden Enden mit Silberlot verlötet werden.

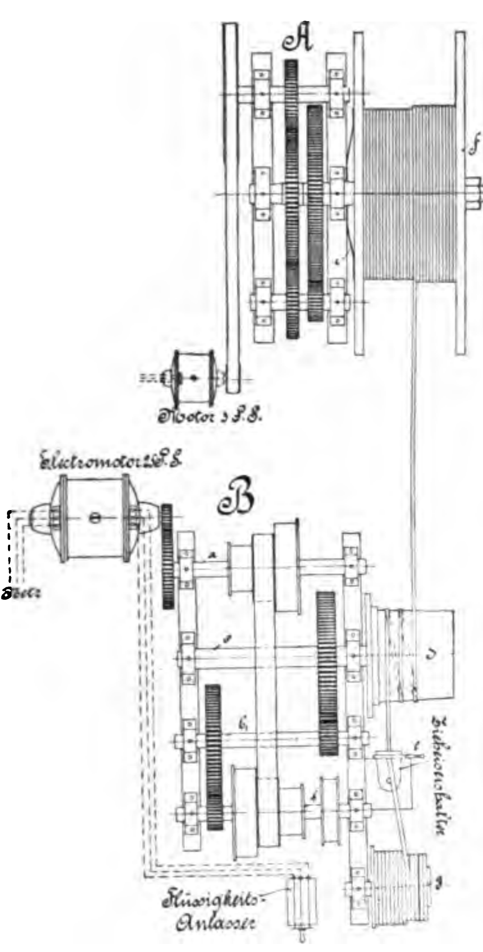
Die zusammengelöteten Drahtringe werden nun auf der TROLLEY-Drahtzugmaschine, wie dieselbe in Fig. 12 dargestellt ist, weiter verarbeitet. Die Ziehgeschwindigkeit ist auf dieser Maschine infolge der Drahtstärke eine bedeutend geringere, so dass sich die Konstruktion von derjenigen der Grobzüge wesentlich unterscheidet, ferner ist auch die Ziehtrommel horizontal angeordnet. *B* stellt die Zugmaschine, *A* die Aufwickelmaschine dar, welche beide von je einem Elektromotor von 25 bezw. 3 PS angetrieben werden. Aus der Zeichnung ist genau ersichtlich, in welcher Weise der Motor bei Maschine *B* mittels Zahnradvorgelege auf die Welle *a* und von dort mittels Riemenübertragung auf die Welle *b* arbeitet. Von dieser gehen Zahnradgetriebe auf die Wellen b_1 und *c* über; auf letzterer sitzt die Ziehtrommel *d*, um welche sich der durch das Zieheisen *e* hindurchgezogene Draht einigemale schlingt und dann zum Aufwickelhaspel *f* der Maschine *A* wandert. Muss der Draht zwei- oder mehreremale durch das Zieheisen gehen, so wird der ganze Ring mit der Trommel *f* abgenommen und hinter der Trommel *g* aufgestellt, und zwar wiederholt sich dieser Vorgang so oft, als Züge erforderlich sind, um die notwendige Drahtstärke zu erhalten. Für die Herstellung einer TROLLEY-Leitung von 8 mm Stärke, also einem Querschnitt von 50 mm², rechnet man sechs Züge, indem die Verjüngung bei den einzelnen Drahtzügen von 20 auf 17, 14·5, 12, 10·5, 9 und schliesslich 8 mm erfolgt. Die Ziehtrommel *d* ist in Anbetracht der Drahthärte sehr starken Beanspruchungen ausgesetzt und ferner beeinträchtigt die Härte des für Bahnbetrieb erforderlichen Drahtes die Ziehgeschwindigkeit der Trommel, da sich Draht und Zieheisen *e* nicht zu sehr erhitzen dürfen. Der Draht wird daher während des Ziehens vor dem Passieren des Zieheisenloches mit Talg geschmiert.

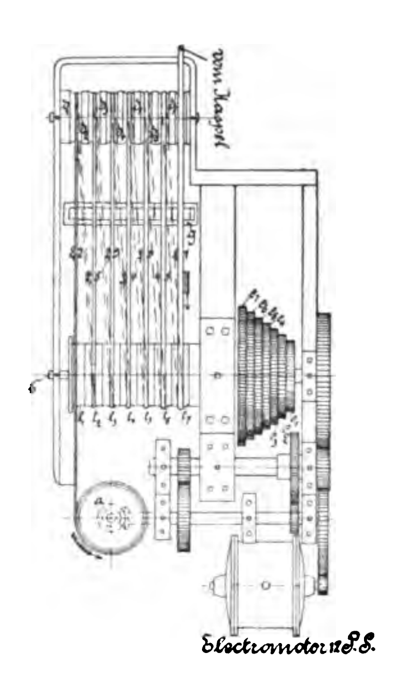
115. Das Ziehen im Mehrfachzug.

Die bis jetzt beschriebenen Drahtzüge waren solcher Art, dass der Draht nur ein Zieheisen passieren musste; man nennt dieselben daher Einfachzüge. Als Gegensatz hierzu sind die Mehrfachzüge zu betrachten, zu welchen der Mittelzug, Mittelfeinzug und Feinzug gehören. Da das Einzelziehen der Drähte von geringerem Durchmesser nicht mehr rationell sein würde, hat man mehrere Zieheisen an einer Maschine angeordnet, so dass jedes eine Verminderung der Drahtstärke bewirkt. Der Draht wird von einer Ziehtrommel ohne Unterbrechung durch sämtliche Zieheisen gezogen, so dass man z. B. bei einem Mittelfeinzug, welcher acht hintereinander angeordnete Zieheisen hat, einen Draht von 1·8 mm auf 1 mm herunterziehen kann, wobei die Abnahme von einem Zieheisen zum anderen circa 0·1 mm beträgt. Die Bedienung geschieht ebenfalls nur durch einen Arbeiter.

In Fig. 13 ist ein Mehrfachzug (der sogenannte FULTON-Patentzug) für stärkere Drähte dargestellt. Auf demselben werden die Drähte von 6 mm

auf 2 mm gezogen und die Verjüngung infolgedessen um 4 mm Stärke in 6 bis 7 Zügen durchgeführt. Der Zug wird durch einen Elektromotor angetrieben, welcher mittels Zahnradgetriebes sowohl die Ziehtrommel *a*, als auch die Welle *b* und das Zahnrad *c* in Umdrehung versetzt. Die Laufrolle e_1 bewegt sich mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit; über derselben läuft der auf der Maschine fertig gezogene Draht und wickelt sich auf der Ziehtrommel *a* auf. Der Draht erhält durch die Streckung nach Passieren des Zieheisens sofort eine grössere Geschwindigkeit und es müssen daher auch die Rollen e_2 bis e_7 und d_1 bis d_7 entsprechend schneller laufen. Die verschiedenen Geschwindigkeiten werden durch die Zahn-


Fig. 12.


Fig. 13.

räder c_2 bis c_7 erreicht, welche durch hohle Achsen, die alle übereinander geschoben sind, mit den entsprechenden Rollen e_2 bis e_7 in Verbindung stehen. Der Kraftverbrauch beträgt bei den angegebenen Verhältnissen circa 12 PS. Die in der Zeichnung bei den sieben Leitungen eingeschriebenen Masse sind die Stärken der Leitungen nach dem Ziehen durch das Zieheisen. Die Ersparnis an Arbeitskräften bei einem derartigen Mehrfachzuge liegt klar auf der Hand.

Es bleiben nun noch die Feindrahtzüge zu erwähnen, bei welchen nur Mehrfachzüge in Betracht kommen und Drähte von 1·0 bis auf 0·04 mm ∅ gezogen werden. Es sind hierzu allerdings mehrere Züge, deren Konstruktion voneinander verschieden ist, notwendig. Die Bauart der hierzu verwendeten Maschinen ist eine so verschiedene, dass gemeinhin die eine der anderen

nicht vorgezogen werden kann. Die Maschinen haben eine verhältnismässig geringe Abmessung und sind mit Diamantzieheisen versehen, bei welchen Kästen zur Kühlung der Drähte angebracht sind, die mit Seifenwasser gefüllt werden. Eine stufenweise Vergrösserung der Scheiben entspricht wiederum den grösseren Geschwindigkeiten bei der Verjüngung des Drahtes.

Die fertiggezogenen Drähte werden zwecks Verwendung zur Kabel- und Litzenfabrikation nochmals ausgeglüht, was zur Verhinderung einer Oxydation in der Weise geschieht, dass die Drahtringe in eiserne Glühkästen, die mit Holzkohlenpulver gefüllt sind, eingepackt werden. Die Kästen werden luftdicht verschlossen und mit Lehm verschmiert, um den Eintritt von Luft zu verhindern. Die Drähte sind dann nach dem Glühen und Erkalten blank wie vorher.

Die Verseilung.

116. Beschaffenheit des Leiters.

Die Seele des Kabels, die eigentliche Leitung, besteht, wie wir bereits auf Seite 10 u. f. gesehen haben, aus Elektrolytkupfer von höchster Leitungsfähigkeit. Nur bei Verwendung dieses Materials bekommen die Kabel den überhaupt möglichen geringsten Querschnitt.

Für Kabel bis zum maximalen Querschnitt von 25 mm^2 kann ein massiver Leiter verwendet werden. Bei allen grösseren Querschnitten werden schwächere Drähte miteinander verseilt, um sie auf den verlangten Querschnitt zu bringen.

Hierdurch wird eine grössere Beweglichkeit des Kabels erreicht, als wenn nur ein massiver Draht Verwendung finden würde und eine gewisse Biegsamkeit ist nicht nur erforderlich, um das Kabel später zu verlegen und vorher für den Transport zusammenzurollen, sondern auch während der Fabrikation wichtig. In gleicher Weise gewährt die Litze bezw. das Seil eine grössere Sicherheit gegen Bruch, da, wenn selbst ein Draht einer Litze gerissen sein sollte, die Leitungsverbindung noch nicht gänzlich aufgehoben ist.

117. Aufwickeln des Leiters.

Vor der Verseilung der einzelnen Kupferleiter miteinander werden dieselben von den vom Kupferwerk gelieferten geglühten Ringen abgewickelt und auf besondere Spulen, Bobinen genannt, aufgebracht, welche in die einzelnen Kabelmaschinen passen. Aus Fig. 14 ist dieser Arbeitsprozess zu ersehen. Erkenntlich ist aus dieser Abbildung, dass die Kupferringe, damit sich die einzelnen Lagen nicht durcheinander schieben, auf ein pyramidenförmiges Gestell gesteckt werden, von welchem man sie abwickelt. Das gleiche Werkzeug kann auch bei der Verlegung von Freileitungen Verwendung finden.

Die gefüllten Bobinen werden dann in Kabellitzmaschinen eingesetzt und die Leitungen von dieser zu einer Litze verseilt, wie in Fig. 15 gezeigt.

118. Konstruktion der Verseilmaschinen.

Diese Verseil- oder Litzmaschinen bestehen aus einem rahmenartigen runden Gestell, dem Stern (Fig. 15), welcher für die Aufnahme der Bobinen bestimmt ist. Dasselbe dreht sich um eine durchbohrte Achse, an deren Ende eine durchlochte Scheibe, die Verteilungsscheibe, und davor ein Kaliber befestigt sind. Vor der Maschine ist eine Abzugscheibe aufgestellt, welche zum Antrieb des Seiles dient.

119. Einrichten.

Soll ein Seil (angenommen aus sieben Drähten bestehend) hergestellt werden, so wird hinter der Maschine eine Trommel aufgestellt (Fig. 16), von welcher der zentrale Draht abläuft; er wird durch die hohle Welle geführt



Fig. 14.

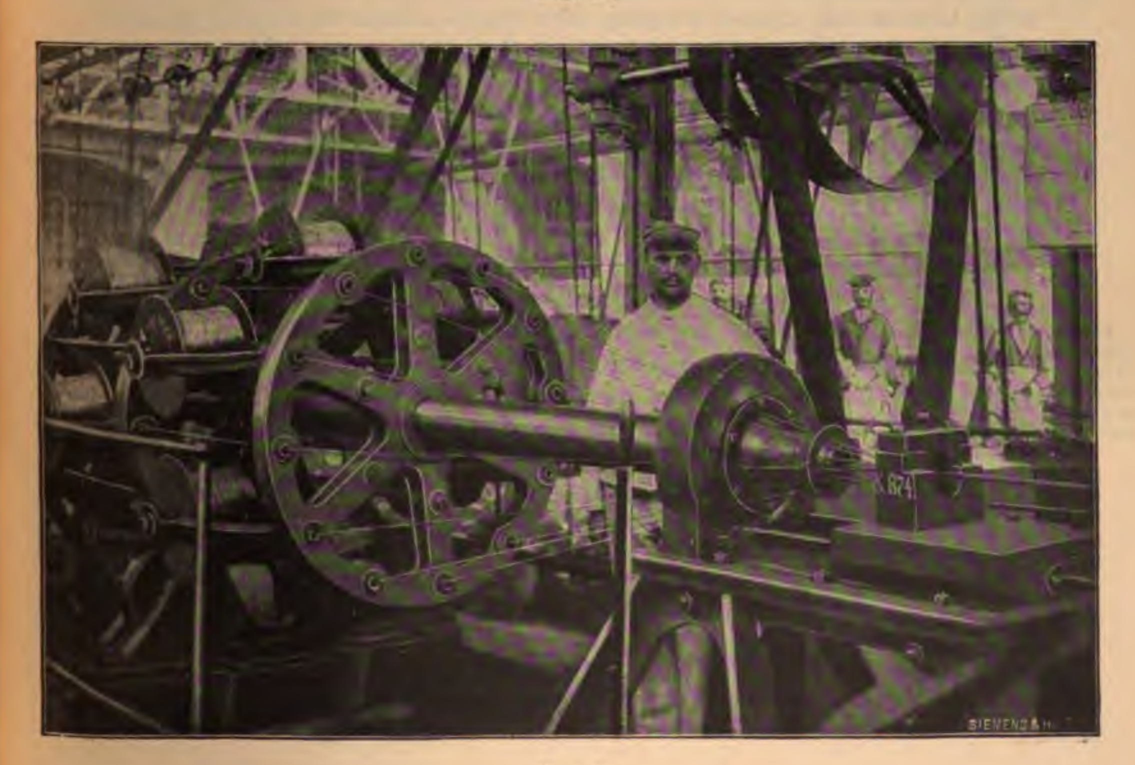


Fig. 15.

und an einem Zugseil befestigt. Am Stern werden gleichmässig verteilt sechs gefüllte Bobinen eingesetzt und die Drähte durch die Verteilungsscheibe und Kaliber zum gleichen Zugseil geführt. Um die Abzugscheibe wird zunächst das Zugseil geschlungen.

120. Drall- und Gegendrehung.

Wird die Litzmaschine in Gang gesetzt, so läuft der zentrale Draht glatt durch, während sich die übrigen sechs Drähte um ihn herum legen. Infolgedessen ist die Mittelader kürzer als die von den Bobinen ablaufenden Drähte, da diese in einer Schraubenlinie um jenen herumgeführt werden. Der Längenzuschlag für diese beträgt etwa 2 %. Die Steighöhe dieser Schraubenlinie, welche als Drall bezeichnet wird, kann grösser oder kleiner eingerichtet werden und richtet sich nach der Länge des Weges, welche der zentrale Draht während einer Umdrehung des die Bobinen tragenden Sternes zurücklegt. Wird der Drall kurz gewählt, so erhält das Seil ein festes Gefüge und ist, besonders für Freileitungen, überhaupt für blank verlegte Leitungen geeignet. Seile mit langem Drall haben ein etwas geringeres Gewicht und geringeren Widerstand als jene mit kurzem Drall. Je länger der Drall, um so geringer ist die Differenz zwischen der Drahtlänge und der Länge des ganzen Seiles. Die Raumausnützung der Leiter wird im übrigen durch den Drall nur sehr unwesentlich beeinflusst.[1])

Nehmen wir an, dass sich die Bobinen auf dem Stern nur um ihre Längsachse drehen könnten, so würde beim Ablauf jeder Draht um seine eigene Achse tordiert, und zwar bei jeder Umdrehung um 360°. Abgesehen davon, dass hierdurch das Material härter wird, können sich auch eventuell die tordierten Drähte, wenn sie verseilt sind, wieder aufdrehen, und wenn sie bereits isoliert sind, die Isolierung beschädigen. Um dies zu vermeiden, werden die Bobinen zurückgedreht, und zwar in der der Drehrichtung des Sternes entgegengesetzten Richtung, so dass sie stets eine parallele Lage zur Welle beibehalten. Dieser Vorgang wird Gegen- oder Rückdrehung genannt. Um ihn zu ermöglichen, sind die die Bobinen aufnehmenden Teile des Gestelles, die Gabeln, drehbar gelagert. Ihr Antrieb erfolgt durch einen Exzenter, der sich an der hinteren Seite des Sternes befindet.

Sollen noch weitere Lagen aufgelegt werden, so spielt sich der gleiche Vorgang mehrmals ab, nur ist als Mittelader dann das vorher fertiggestellte Seil einzuführen und in das Gestell immer sechs Bobinen mehr als vorher einzusetzen, da jede weitere Lage um weitere sechs Drähte zunimmt.

Das fertige Seil wird auf eine Trommel gewickelt, die von der gleichen Maschine angetrieben wird; dieser Vorgang wird später beschrieben.

121. Mehrfach-Verseilmaschine von Johnson & Phillips.

Ein Seil aus einer grösseren Anzahl von Drähten kann in einem Fabrikationsgang hergestellt werden, wenn Tandem- oder Triple-Litzmaschinen Verwendung finden. Bei diesen liegen 6, 12, 18 Spulen hintereinander, deren Mittelachsen ineinander fallen. Eine derartige Maschine stellt Fig. 16 dar, welche von JOHNSON & PHILLIPS, London, gebaut wird.

Um bei Seilen mit mehreren Lagen die Wirkungen des Dralles möglichst aufzuheben, werden die Lagen in entgegengesetzter Richtung gewickelt. Bei Herstellung dieser Drähte wird noch eine verschiedene Geschwindigkeit der Spulenträger erforderlich, um bei den oberen Lagen den gleichen Längenzuschlag von 2 % zu erreichen,[2]) wie bei den unteren.

---

1) ETZ 1902, S. 675.

2) Vgl. DEHMS, Die Form des Leiters von elektrischen Kabeln. ETZ 1888, S. 208.

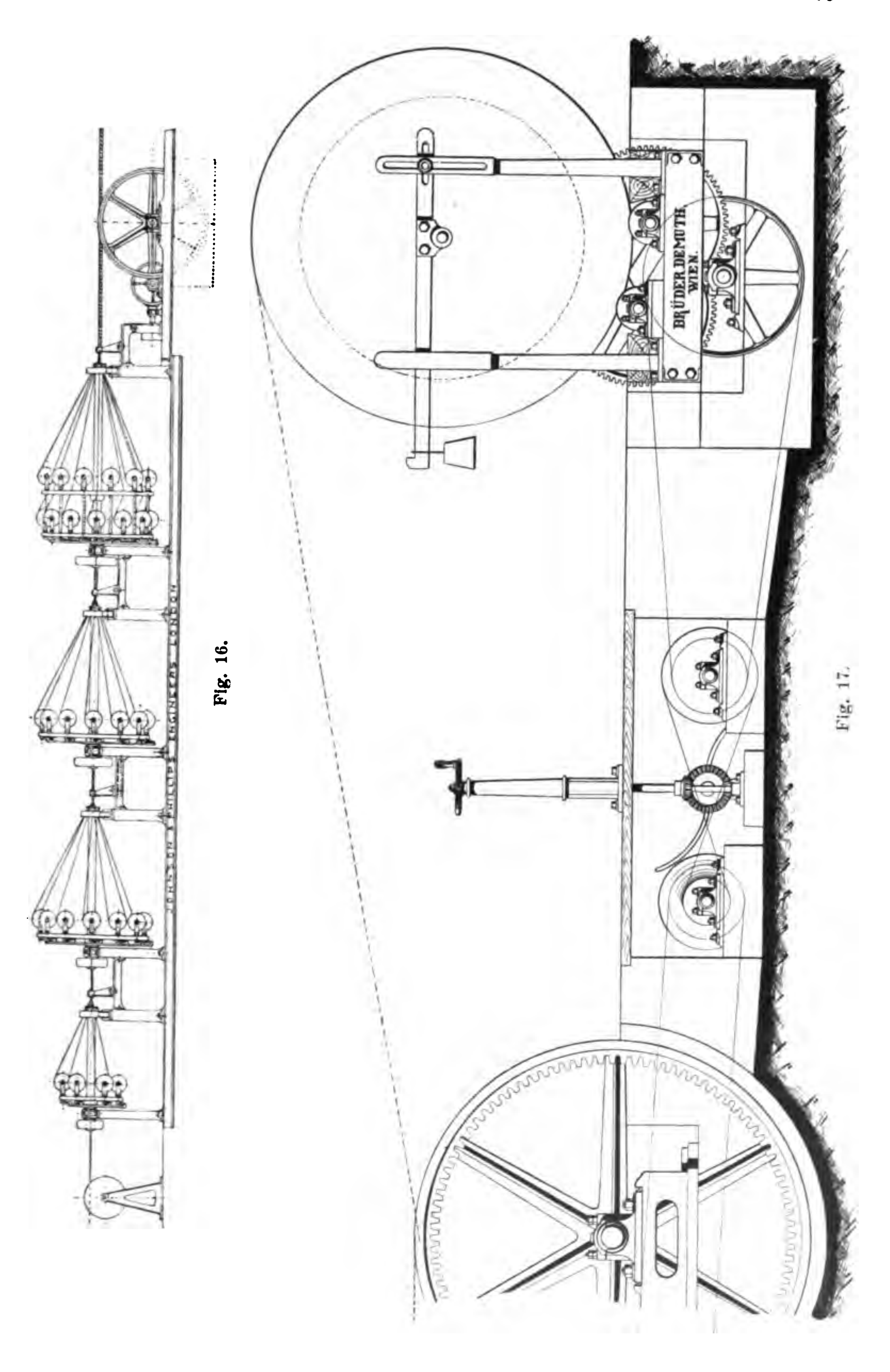


Fig. 16.

Fig. 17.

Seine Ursache findet diese Massnahme darin, dass der mit jeder weiteren Lage wachsende Seildurchmesser einen kürzeren Drall bedingt, da die Geschwindigkeit, mit welcher das Seil durch die Maschine geht, stets die gleiche bleibt.

122. Abzugsscheibe und Wickelapparat. Die Geschwindigkeit, sowie der ganze Vorschub des Seiles hängt von der Abzugsscheibe ab, um welche ursprünglich das Zugseil und später das Seil selbst, wenn es durch die Seilmaschine hindurchgelaufen ist, geschlungen wird. Um genügend grosse Reibung für den Antrieb zu erhalten, wird das Seil etwa dreimal herumgelegt.

Um die Geschwindigkeit und hierdurch den Drall des Seiles verändern zu können, sind zwischen die antreibende Transmission und die Abzugsscheibe Wechselräder geschaltet, die bequem ausgewechselt werden können.

Das fertige Seil wird auf eine Trommel aufgewickelt, die durch einen besonderen Aufrollapparat angetrieben wird. Früher war es üblich, Haspel zu verwenden, von denen aber das Seil oder Kabel nochmals abgerollt werden musste, um auf die zum Transport bestimmten Rollen aufgebracht zu werden. An ihre Stelle sind durchweg Apparate getreten, welche gestatten, die Seile auf eine Trommel versandfertig aufzurollen.

Fig. 17 zeigt einen Unterwalzen-Aufrollapparat der Firma Brüder Demuth, Wien, für starke Kabel.

Dieser Wickelapparat gestattet jede beliebige Trommel zu verwenden, auf welche das Kabel zum Transport aufgerollt werden soll.

Der Apparat besteht aus zwei Hauptteilen, dem Antriebe und dem Aufrollapparat. Der erstere wird durch zwei konische Riementrommeln gebildet. Vermittels einer Riemengabel, welche hin- und hergesteuert werden kann und durch eine Gewindespindel, die durch ein Handrad bethätigt wird, ist es möglich, jede gewünschte Geschwindigkeit während des Ganges der Maschine einzustellen.

Der eigentliche Aufrollapparat besteht aus zwei wenig über den Fussboden hervortretenden Walzen, welche die Holztrommeln mit ihrer Peripherie berühren. Dreht man nun die Walzen, so wird die Trommel mitgenommen und das von der Abzugscheibe kommende Kabel aufgewickelt. Ein Heben der Trommel ist nicht erforderlich, da sämtliche Teile unter dem Fussboden liegen, so dass selbst die schwersten Trommeln zu ebener Erde vom Apparat heruntergerollt werden können. Nach dem Prinzip der Maschine wirkt dieselbe um so sicherer, je mehr Kabel auf die Trommel aufgerollt ist, da mit der zunehmenden Schwere auch die Friktion steigt. Bei kleineren Trommeln oder im Anfang des Aufwickelns wird man daher die Trommeln nach Erfordernis belasten müssen.

Der Apparat wird in zwei Grössen gebaut, und zwar für Trommeln bis 1500 mm Durchmesser und bis zu 700 mm Breite und für solche bis 2500 mm Durchmesser und bis zu 1500 mm Breite.

Das Aufwickeln selbst ist aus Fig. 18 deutlich erkennbar. Es zeigt, dass bei der Fabrikation schwerer Kabel eine Führung des ankommenden Kabels erforderlich ist, um ein möglichst dichtes Aneinanderlegen der Windungen zu erreichen.

123. Herstellung der Seile mit unrundem Querschnitt. Um eine möglichst grosse Ersparnis an Isoliermaterial zu erhalten, wodurch infolge des geringeren Kabeldurchmessers auch am Bleimantel und an der Eisenarmatur gespart wird, werden, wie bereits früher erwähnt, Kabel mit unrundem Seilquerschnitt hergestellt. Dieselben haben, wenn es sich um Kabel mit drei Leitern handelt, wie dies Fig. 3a zeigt, ein kleeblatt-

ähnliches Aussehen, wobei die Seiten des Seiles einen Winkel von 120° bilden, oder bei Zweileiterkabeln einen halbkreisförmigen Querschnitt u. s. w. Bei ihrer Herstellung werden diese Formen durch ein entsprechend ausgebildetes Kaliber gewonnen, wobei häufig Drähte beilaufen müssen, welche nicht verseilt sind, um den Querschnitt voll auszufüllen.

Auch die Querschnitte der einzelnen Drähte werden, wie dies aus Fig. 19 hervorgeht, verschieden dimensioniert, um die Form des Querschnittes ohne Zwischenräume zu erreichen. Bei der Herstellung dieser Seile kann



Fig. 18.

die Gegendrehung der Bobinen keine Anwendung finden, so dass die einzelnen Drähte tordiert werden.

Bei Dreileiterkabeln, bei denen der Querschnitt des Mittelleiters den Betriebsverhältnissen angepasst ist, finden Seile mit unrundem Querschnitt vielfach Verwendung.

So zeigt Fig. 19 ein von FELTEN & GUILLEAUME hergestelltes Kabel, bei welchem der Mittelleiter runden, dagegen die Aussenleiter einen ovalen Querschnitt haben.



Fig. 19.

Der unrunde Querschnitt, hauptsächlich wie er sich in Fig. 3 u. 19 präsentiert, hat noch einen anderen Vorteil, der sich in einer Ersparnis an Isoliermaterial ausdrückt. Werden nämlich zwei runde Leiter miteinander verseilt,

so bilden sich dreieckige Hohlräume, die ausgefüllt werden müssen, um ein glattes, rundes Kabel zu erhalten. Bei der Verseilung werden daher Stränge von Jute oder dergleichen mitverseilt. Bei gutgewähltem unrundem Querschnitt können diese Beiläufe entbehrt werden, wodurch eine bedeutend bessere Raumausnutzung erreicht werden kann.

Die Isolierung des Leiters.

124. Das Plattieren. Der Kupferleiter wird mit einer Isolierhülle umgeben, die, je nach dem Zweck und der Spannung, aus Fasergespinsten, Gummi, Guttapercha oder Papier bestehen kann und deren Stärke den Zwecken entsprechend gewählt wird. Verlässt das Kupferseil die Kabellitzmaschine, so wird es, soweit isolierende Faserstoffe in Betracht kommen, mit diesen umsponnen. Zu diesem Zweck sind in der Regel mehrere Wickelmaschinen mit der Kabellitzmaschine in einer Reihe aufgestellt, wie dies aus Fig. 23 deutlich hervorgeht.

Dieser Vorgang wird das Plattieren genannt. Es beruht auf demselben Prinzip, wie das der Umspinnung von dünnen Drähten, welches auf Seite 117 beschrieben wird. Statt eines Fadens werden aber hier mehrere verwendet (Fig. 20), um eine möglichst gleichmässige Oberfläche zu erhalten. Ausserdem läuft aber, um diesen Zweck sicher zu erreichen, das Kabel durch ein enges Mundstück, wodurch eine glatte, glänzende Oberfläche erreicht wird. Erhöhte Aufmerksamkeit muss diesem Teile der Fabrikation besonders dann geschenkt werden, wenn das Kabel später mit einem Bleimantel umpresst werden soll.

Die Stärke der Isolierschicht ist nach der Herkunft der Kabel verschieden und schwankt zwischen 2 bis 3 mm für Niederspannung und erreicht etwa 5 bis 6 mm für Hochspannung bis 3000 Volt. In welchem Masse die Stärke der Isolierschicht durch die Spannung beeinflusst wird, ist auf Seite 36 f. schon behandelt.

Genaue Werte können den an anderer Stelle wiedergegebenen Tabellen entnommen werden.

125. Die Umwicklung. Als Abart der Umspinnung muss noch die Umwicklung erwähnt werden. Sie findet Anwendung, wenn den Isoliermaterialien die Form von Bändern gegeben wird, aber auch bei der Panzerung von Kabeln mit Eisenbändern.

In Form von Bändern wird Jute, Hanf und Papier vielfach angewendet, für Installationsdrähte findet eine Umwicklung mit Gummibändern statt.

Das Wickelmaterial wird von Bandspulen aufgenommen, deren Stellung aus Fig. 23 bis 25 erkennbar ist. Es geht hieraus hervor, dass das Band in einer bestimmten Entfernung vom Wickelapparat entfernt auflaufen muss, damit seine Fläche parallel zum Kabel aufläuft. Ist dies nicht der Fall, so werden die einzelnen Teile des Bandes verschieden beansprucht und es ist eine spätere Verschiebung desselben möglich; einesteils kann das Kabel dann bei der weiteren Fabrikation hängen bleiben und beschädigt werden, andererseits kann bei schlechter Umwicklung der Kupferleiter frei gelegt werden.

Bei der Umspinnung liegt die Achse des Spinnläufers parallel zum Kabel, während die Umwicklung eine mehr oder weniger geneigte Lage der Achse der Bandspule bedingt.

Würde dies nicht der Fall, also eine den Umspinnern analoge Anordnung getroffen sein, so würden die Bänder nahezu übereinander gelegt und hierdurch nicht fest genug auf den Leiter gepresst werden.

Sie werden mit einer geringen Überlappung übereinander angeordnet und bilden somit eine fortlaufende Hülle von gleichmässiger Stärke.

Trocknung und Imprägnierung der Faserstoffe.

126. Einfluss der Trocknung auf den Isolationswiderstand.

Sind die Seile mit Faserstoffen umgeben, so sind sie für den Gebrauch noch nicht fertig. Die porösen Isoliermaterialien enthalten stets eine gewisse Menge von Wasser, wodurch die Isolierfähigkeit wesentlich beeinträchtigt wird. Ferner lassen sie kleine Zwischenräume frei, in welche Feuchtigkeit eindringen kann und die dem Strom einen bequemen Abweg bieten.

Diesem Übelstande wird begegnet, indem diese feinen Zwischenräume mit einer Imprägniermasse angefüllt werden, welche die Möglichkeit einer

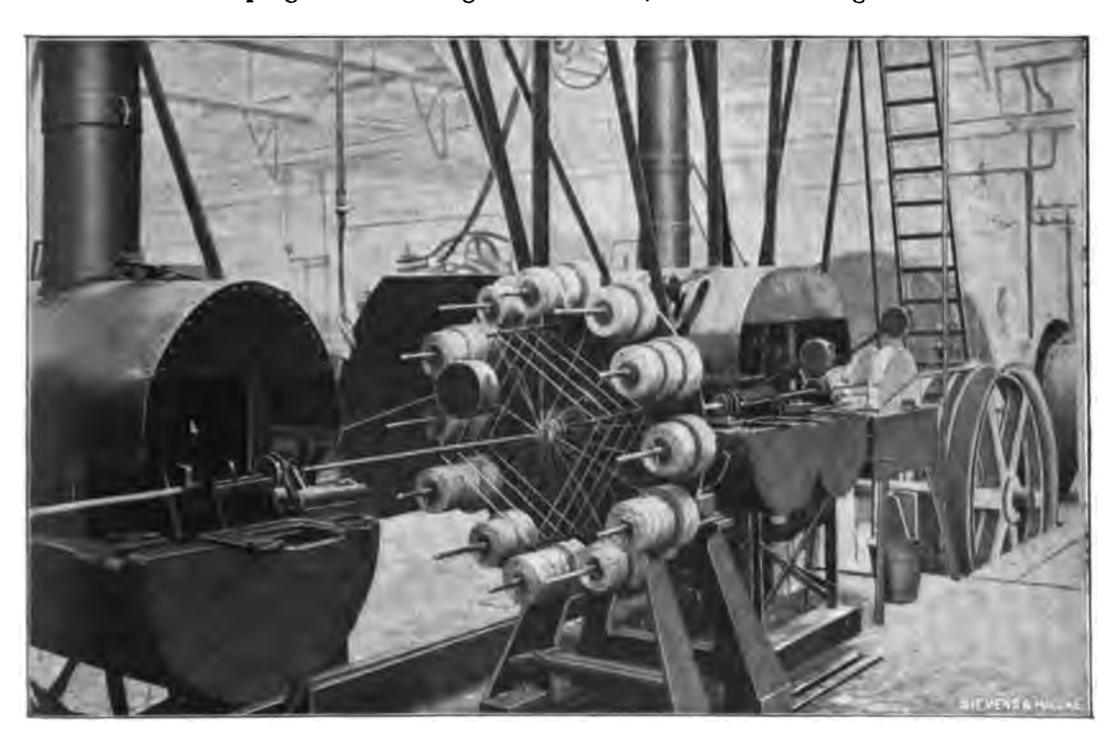


Fig. 20.

Feuchtigkeitsaufnahme nahezu ausschliesst. Damit aber diese eindringen kann, muss vorher eine Trocknung der Isoliermaterialien vorgenommen werden, wodurch die in ihnen enthaltene Feuchtigkeit ausgetrieben wird.

Von der Trocknung ist auch der Isolationswiderstand abhängig. Je weiter der Trocknungsprozess getrieben wird, um so höher wird der Isolationswiderstand eines Kabels.

Um aber einen sehr grossen und vielfach von den Abnehmern verlangten Isolationswiderstand erreichen zu können, müssen die Isoliermaterialien einem sehr weitgehenden Trocknungsprozess unterworfen werden, durch den die Faserstoffe unter Umständen leiden.

Dies führt oft dazu, dass die Kabel später den an sie gestellten Anforderungen nicht genügen, da das Material seine Geschmeidigkeit verliert und beim Verlegen brüchig wird. Sind dann besondere Bedingungen bezüg-

6*

lich der Prüfung mit Überspannung nach der Verlegung gestellt, wie dies z. B. vom englischen Handelsministerium geschieht, nach dessen Erlass kein Hochspannungskreis in Betrieb genommen werden darf, welcher nicht eine Stunde lang die doppelte Betriebsspannung ausgehalten hat, so führen die obenerwähnten Ursachen zu Durchschlägen und Zurückweisung des schon verlegten Kabels.[1])

Es können aber, ohne den Faserstoffen zu schaden, Isolationswerte von mehreren tausend Megohm vor der Verlegung erreicht werden, jedoch genügt ein weit geringerer Wert.

Es gibt nun mehrere Arten der Trocknung und Imprägnierung, das Auskochen, das Austrocknen in Trockenkammern und die Trocknung in

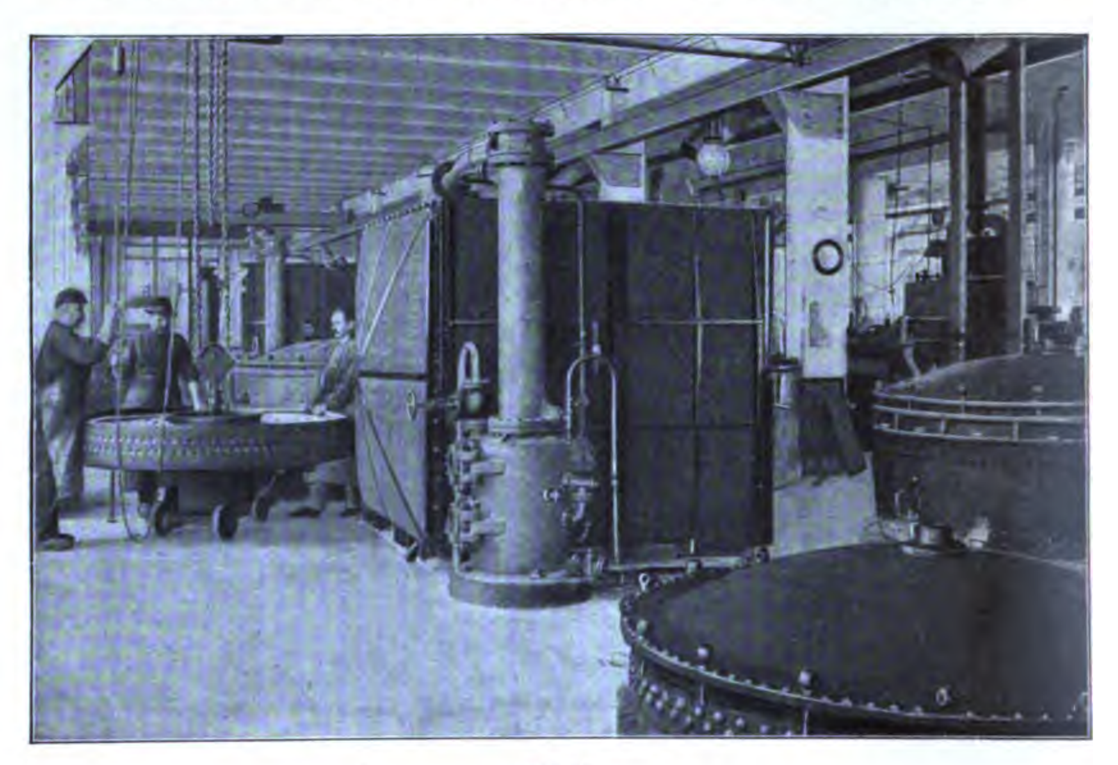


Fig. 21.

Vacuumapparaten, von denen die zuletzt erwähnte und sicherste Art allen modernen Anforderungen genügt.

127. Auskochen.

Das Auskochen der Kabel erfolgt in offenen Kesseln, in welchen die Imprägnierflüssigkeit auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird. Das Kochen muss so lange fortgesetzt werden, bis Luftblasen nicht mehr aufsteigen. Dann kann angenommen werden, dass alle Luft und Feuchtigkeit aus den Isolierstoffen entfernt und die Imprägniermasse in alle Poren eingedrungen ist. Nach diesem Verfahren, welches im übrigen nur noch selten angewendet werden dürfte, können nur solche Stoffe imprägniert werden, welche durch die Temperaturerhöhung keinen Schaden leiden. Dieser

1) El. London, Bd. 48, S. 928.

Prozess geht rasch von statten und hat den Vorzug grosser Billigkeit, verlangt jedoch eine ständige Kontrolle der Imprägnierflüssigkeit, deren leichtflüchtige Bestandteile ständig verdampfen und wieder ersetzt werden müssen. Auch sollen die Pflanzenfasern leicht brüchig werden, so dass der hauptsächlichste Vorteil, dass sie von der Masse gut und gleichmässig durchdrungen werden, nahezu aufgehoben wird.

128. Austrocknen in Trockenkammern. Die Trommeln werden in besondere Trockenkammern gebracht, wo sie auf geheizten Platten aufgestellt werden. Um die warme Luft möglichst gleichmässig eindringen zu lassen und ein gründliches Auswärmen bis auf die untersten Windungen überhaupt zu ermöglichen, werden beim Aufwickeln besondere Luftspalten gelassen. Dieser Prozess nimmt sehr viel Zeit in Anspruch und findet kaum noch Anwendung.

129. Trocknung im Vacuumapparate. Im Vacuum verdampft das Wasser wesentlich rascher als unter dem Druck der Atmosphäre; die Kabel werden daher in besondere, dicht abschliessende Gefässe gebracht, die mit Dampf geheizt und an eine Luftpumpe angeschlossen sind.

Die Heizung erfolgt mit dem für Heizzwecke im allgemeinen üblichen Druck von etwa fünf Atmosphären. Die Luftverdünnung wird soweit getrieben, als es die Apparate überhaupt zulassen. Es werden mit den Vacuumapparaten von Huber etwa 700 mm, mit den nach den Angaben von Wesslau konstruierten noch etwas mehr erreicht.

Durch die Anwendung von Wärme und Luftleere allein kann eine genügende Trocknung nicht erreicht werden. Die auftretenden Wasserdämpfe verhindern dies. Es wurde daher in den Vacuumapparat bei der Beschickung mit dem Kabel auch gleichzeitig ein Gefäss mit hygroskopischem Material, in der Regel ungelöschter Kalk, gebracht. Die modernen Apparate sind dagegen mit vorzüglich arbeitenden Kondensatoren ausgerüstet, die alle auftretenden Wasserdämpfe rasch niederschlagen und das Kondenswasser gut abführen. Nachstehend sind die üblichen Trockenapparate aufgeführt.

130. Trockenapparat nach Huber. Der Kessel (gebaut vom Grusonwerk Magdeburg) besteht aus Schmiedeeisen, auf dem mit Hilfe von umlegbaren Schrauben ein Deckel befestigt werden kann, der ausser einem Vacuummeter den Anschluss für den Schlauch der Luftpumpe trägt. Die Dampfheizung erfolgt durch Heizschlangen, welche zum Teil am Boden des Gefässes, zum Teil parallel zu den Seitenwänden angeordnet sind. Die früher übliche Konstruktion der Apparate mit doppelten Wänden, deren Hohlräume der zur Heizung bestimmte Dampf durchströmte, sind gänzlich aufgegeben, da sie unrationell waren und stets eine gewisse Gefahr bedingten.

Die Kabel werden nicht unmittelbar in den Kessel gelagert, sondern in einen Teller mit aufgebogenem Rand, der durchlöchert ist und somit eine Zirkulation der Imprägnierflüssigkeit gestattet. Im Hintergrunde der Fig. 21 ist ein derartiger Teller ersichtlich, bereit, mit dem eingelegten Kabel in den Kessel eingebracht zu werden. Im Vordergrunde sind die beschriebenen Tränkkessel zu sehen. Um später das Kabel bequem abrollen zu können, muss der Teller drehbar sein. Er stützt sich daher auf einen mittleren Zapfen, der in Kugeln gelagert ist.

131. Trockenschränke nach Wesslau. Da die vorerwähnten Vacuumapparate eine grosse Fläche einnehmen und dabei den Nachteil haben, dass das Kabel nur unten und an den Seiten bestrahlt wird, so konstruierte Passburg auf Veranlassung Wesslaus einen anderen Apparat, in Form eines Schrankes, der diese Nachteile nicht aufweist.

Diese Trockenschränke (in Fig. 21 erkennbar) sind äusserst kräftiger Konstruktion, haben fünf übereinander angeordnete brillenförmige Ringe zur Aufnahme der gleichen vorher beschriebenen Teller, die sich nach Öffnen einer Thür leicht um eine seitlich angebrachte Achse drehen lassen. Durch diese Anordnung kann in derselben Zeit fünfmal mehr geleistet werden als mit den runden Trockengefässen.

Es findet aber auch eine bessere Einwirkung der Wärmestrahlen auf die Kabel statt, da die Anordnung der Heizschlangen so getroffen ist, dass jeder Teller zwischen zweien derselben liegt.

Der Abschluss des Schrankes erfolgt, wie bereits gesagt, durch eine Thür, die luftdicht abgedichtet wird. Als Dichtungsmaterial wird für alle solche Fälle gern Hartblei, seltener Gummi verwandt.

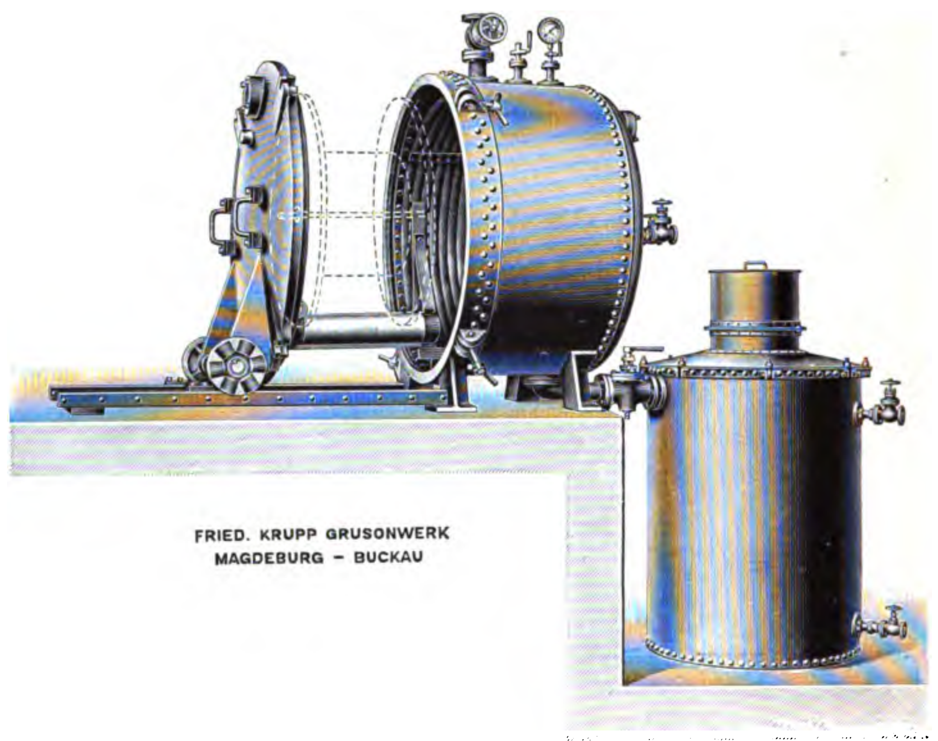


Fig. 22.

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Schränke ist der Kondensator (Fig. 21), der aus einem System von Kupferröhren besteht, welche von kaltem Wasser bespült werden. Am unteren Teil derselben ist ein Sammelbehälter angebracht, in welchen man durch zwei Schaugläser hineinsehen kann. An diesen erkennt man genau, welche Menge von Kondenswasser abfliesst und kann hieraus auf die Fortschritte des Trocknungsprozesses einen Schluss ziehen.

Diese Apparate arbeiten ihres guten Kondensators wegen mit einer wesentlich niedrigeren Temperatur als die früher erwähnten (80 bis 90° statt 140° C.), so dass eine Verminderung der Güte der Faserstoffe viel weniger eintreten kann als bei anderen Apparaten.

Aus diesen Trockenschränken kommen die Kabel unmittelbar in besondere Tränkkessel, in denen die Tränkflüssigkeit durch Dampfheizung warm ge-

halten wird. Um ein Verdampfen der leichtflüchtigen Bestandteile zu vermeiden, werden die Kessel bedeckt.

Die Firma FRIED. KRUPP, Grusonwerk, hat eine eigene Konstruktion von Vacuumapparaten geschaffen, die in Fig. 22 wiedergegeben ist. Sie unterscheidet sich dadurch wesentlich von den anderen, dass das Kabel nach der Umspinnung direkt auf eiserne Trommeln gewickelt wird, auf denen es in den Apparat eingebracht wird.

132. Trockenapparat vom Grusonwerk.

Hier sind die Thüren nicht drehbar, sondern ausfahrbar angeordnet, und zwar wird bei den für zwei Trommeln bestimmten Apparaten nur die eine Seite, bei denen für vier Trommeln beide Seiten zur Einführung der Kabel eingerichtet. Die Heizschlangen liegen im Innern des Kessels in einer fortlaufenden Spirale, so dass das Kabel von allen Seiten beheizt wird. In Verbindung mit dem Vacuumapparat steht ein besonderer Kessel für die Tränkflüssigkeit.

Die Imprägnierung.

Durch die Austrocknung ist die Feuchtigkeit bis zu einem gewissen Grade aus den Poren der Faserstoffe herausgetrieben. Dieselben würden aber bald wieder Wasser aufnehmen, wenn die Imprägnierung der Austrocknung nicht unmittelbar folgen würde. Beim Auskochen erfolgt die Ersetzung der Feuchtigkeit und der Luft durch die Imprägnierflüssigkeit unmittelbar, bei der Verwendung von den auf Seite 85 beschriebenen runden Vacuumapparaten dadurch, dass sie unter dem Druck der Atmosphäre in dieselben Gefässe getrieben wird. Bei Verwendung von Trockenschränken werden die Kabel nach der Trocknung in besondere Tränkkessel gebracht.

133. Die Tränkungsflüssigkeit.

Soll die Imprägnierflüssigkeit ihren Zweck erfüllen und durch ihre Anwendung eine Verbesserung der Isolierung erreicht werden, so muss sie besonderen Anforderungen genügen. In erster Linie darf sie kein Wasser enthalten, muss säurefrei sein und im kalten Zustande dickflüssig genug, um nicht an die am tiefsten liegenden Stellen des Kabels zu fliessen.

Als Tränkungsmasse werden Mischungen verwendet, welche aus Harzen, Ölen, Wachs und dergleichen bestehen. Grösstenteils sind diese Zusammenstellungen Fabrikgeheimnisse.

Besonders ist noch die Induktionskapazität der Imprägnierflüssigkeit zu beachten. [1])

Ausser der vorgenannten Art der Imprägnierung, bei der die Masse in die feinsten Poren der Faserstoffe eindringen soll, wird noch eine andere angewendet, welche nur dazu bestimmt ist, den Isoliermaterialien einen gewissen mechanischen Schutz zu bieten und wird gelegentlich der Besprechung der Umspinnung der Kabel nach der Armierung noch näher besprochen werden. Während bei der vorher beschriebenen Imprägnierung die Masse sehr dünnflüssig sein muss, wird sie später zähflüssig verlangt, damit sie am Kabel haften bleibt. Es findet daher auch eine andere Zusammensetzung der Masse statt, die meistens aus Steinkohlenteer, Asphalt oder Pech besteht.

Die getränkten Kabel steigen nun direkt in die Bleipresse, um hier den eigentlich wichtigsten Schutz zu erhalten, indem sie mit einem geschlossenen Bleimantel umpresst werden. Hierzu wird eine Bleipresse, wie solche in Fig. 27 wiedergegeben wird, verwendet.

---

1) Vgl. PRASCH-WIETZ: Die elektrotechnischen Masse. Leipzig 1896, S. 79.

Kabelmaschinen.

134. Tandem-Kabelmaschine.

Nachstehend seien noch einige wichtige Maschinen zur Drahtseil- und Kabelfabrikation beschrieben, deren Zeichnungen die Firma Brüder Demuth, Wien, freundlichst zur Verfügung gestellt hat.

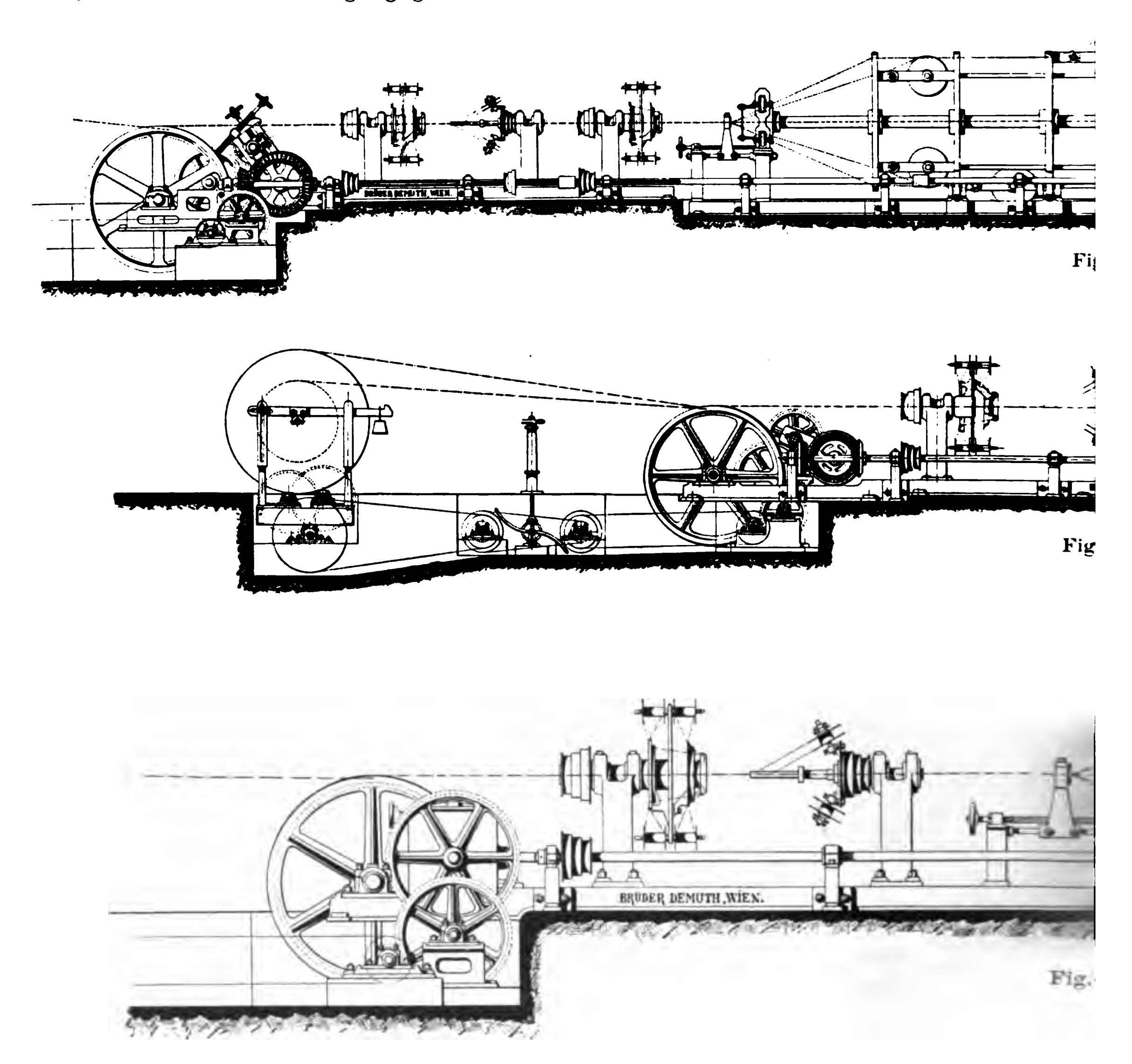
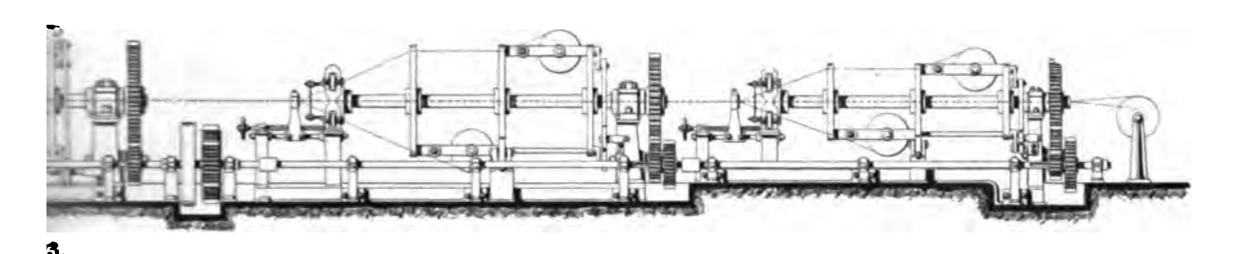
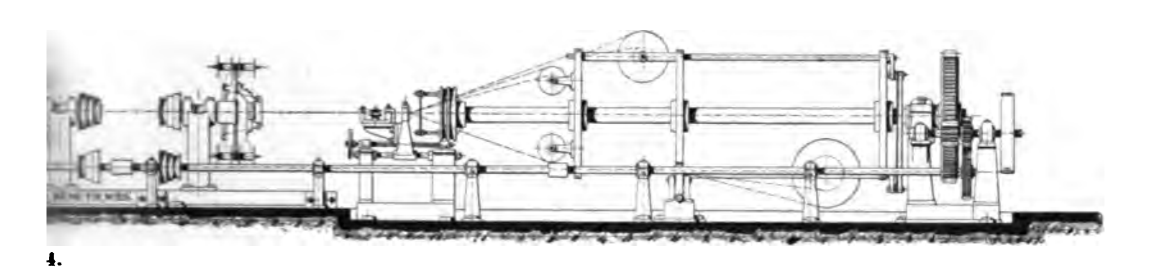


Fig. 23 zeigt eine horizontale Tandem-Kabelmaschine, welche durch Hintereinanderstellung dreier Seilmaschinen gebildet ist. Durch die grössere Anzahl der Drahtlagen, aus denen ein Seil besteht, ist die Verwendung von zwei, drei oder mehreren Seilmaschinen bedingt. Eine derart angeordnete Maschine wird Tandemmaschine genannt. Die Abbildung veranschaulicht eine solche mit drei Sternen von 6, 12 und 18 Spulen, zwei Spinnläufern, einem Bandwickler und der Abzugsvorrichtung. Der Aufwickelapparat ist in der Zeichnung weggelassen,

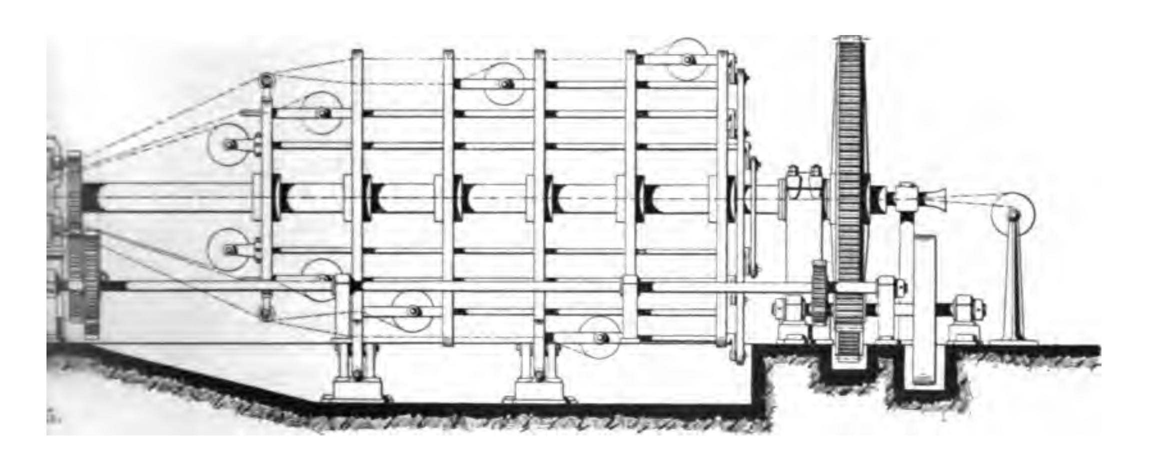
er ist aus Fig. 17 und 24 ersichtlich. Der Antrieb ist zwischen dem zweiten und dritten Stern angeordnet und wirkt auf eine Transmission, welche durch die ganze Länge der Maschine läuft und Sterne, Spinnläufe und den Abzug antreibt. Stern 1 und 3 rotieren nach einer, Stern 2 nach der anderen Richtung. Durch Wechselräder können den einzelnen Sternen verschiedene Geschwindigkeiten gegeben werden, so dass dieselben mit



3.



4.



gleicher oder ungleicher Geschwindigkeit, aber auch in gleicher Richtung laufen können.

Zur Erzeugung konzentrischer Zweileiterkabel können also alle 36 Drähte in einem Kreise um ein Kabel gelegt werden. Jede der Seilmaschinen hat gusseisernen Fundamentrahmen, Stahlmittelrohr, Stahlspulenflügel, Kurbel und Kurbelring zur Rückdrehung, Bremse, Legescheiben und Kaliber. Die Wechselräder sind aus Stahlguss.

Die Tandemmaschine wird in fünf verschiedenen Grössen von 9 bis 28 m Länge und meist für elektrischen Antrieb gebaut.

135. Dreileiter-Verseilmaschine. In Fig. 24 ist eine grosse Dreileiter-Verseilmaschine dargestellt. Dieselbe dient zur Herstellung schwerer Drehstromkabel bis zu 100 mm ∅ und ist äusserst stabil gebaut, hat gusseiserne Fundamentsockel, ein gebohrtes Stahlmittelrohr von 200 mm ∅, Spulenflügel aus Schmiedeeisen und sehr starkes Abzugwerk mit 2 m grosser Zugscheibe. Zu der Maschine gehören drei grosse Spulen von 1000 mm ∅ für die Kabeladern, drei kleinere von 550 mm ∅ für die Prüfdrähte und sechs wiederum kleinere von 310 mm ∅ für die Jutefüllung. Die Länge der Maschine beträgt ca. 20 m; die erforderliche Betriebskraft ist ca. 12 PS.

136. Telephonkabel-Verseilmaschine. Fig. 25 zeigt die Abbildung einer Telephonkabel-Verseilmaschine zur Erzeugung der Papier-Telephonkabel. Diese Maschinen sind leichter gebaut und haben ein gebohrtes Stahlrohr als Hauptachse. Das vordere Ende dieser Achse ist mit einem durchbrochenen Stahlkranz versehen, dessen glatter Teil auf Gleitrollen läuft. Der mit Zähnen versehene hintere Teil überträgt die Bewegung des Sternes auf die Transmissionswelle, welche die übrigen Teile der Maschine antreibt. Der auflaufende Kabelring wird durch ein Abstreichmesser auf die Seite geschoben, wodurch das nachlaufende Kabel Raum erhält. In diese Maschine können auch Doppelspulen von halber Breite eingesetzt werden, so dass die doppelte Anzahl Drahtspulen arbeiten kann. Hierdurch wird aber eine Rückdrehung derselben ausgeschlossen.

Die Bleipresse.

137. Zweck des Bleimantels. Durch die Tränkung werden die Isoliermaterialien für die Aufnahme von Feuchtigkeit unfähig gemacht, eine Erhöhung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen wird auf die Dauer jedoch nicht erreicht. Nach einiger Zeit würden sie unter den Einflüssen von Luft, Licht und Feuchtigkeit leiden, so dass ihr Isolationsvermögen wesentlich beschränkt würde. Um dies zu vermeiden, wird ein Bleimantel um die Leitungen gepresst, welcher die äusseren Einwirkungen fernhält.

Blei eignet sich hierzu ganz besonders, da es, wenn es nicht gerade mit Alkalien in Berührung kommt, gegen chemische Einflüsse äusserst widerstandsfähig ist.

Werner Siemens begründete die Verwendung des Bleies, als er sie vorschlug, wie folgt:

„Über die Erhaltung des Bleies in der Erde liegen alte Erfahrungen vor. In reinem Sand- oder Thonboden, welcher keine vegetabilischen Bestandteile enthält, hat es sich jahrhunderte-, ja jahrtausendelang gut erhalten. Durch die Einwirkung des Sauerstoffes der Luft bildet sich zwar auch in gewisser Tiefe des Erdbodens noch eine Oxydhaut auf der Oberfläche des Bleies, doch nur in dem Falle dringt diese Zersetzung tiefer ein, wenn ein gleichzeitiger Zutritt von Kohlensäure die Bildung von Bleiweiss möglich macht."

138. Geschichtliches. Werner Siemens wandte 1877 Bleirohre zum Schutz für Guttaperchadrähte an, welche ungeschützt in den Erdboden verlegt, bald zerstört wurden. Zu diesem Zweck wurden Bleirohre von 50 bis 60 m Länge lang ausgestreckt, eine Hanfschnur durchgeblasen und mit deren Hilfe die Guttaperchaader nachgezogen. Die lichte Weite des Rohres musste so gewählt

werden, dass ein bequemes Einziehen möglich war. Um nunmehr das Bleirohr fest auf den Leiter zu pressen, wurde es durch ein Zieheisen gezogen.

Diese Art der Fabrikation von Bleikabeln hatte manche Schwierigkeit. Es konnten nur Fabrikationslängen von 50 bis 60 m hergestellt werden und es musste daher häufig gelötet werden. Ferner konnten die Rohre nicht genügend ausgetrocknet werden, auch auf der Oberfläche des isolierten Drahtes schlug sich vor seinem Einziehen Feuchtigkeit nieder, so dass derart hergestellte Adern bald verdarben.

Später wurden von verschiedenen Seiten ziemlich gleichzeitig Versuche gemacht, den Bleimantel direkt auf den Leiter zu pressen.

François Borel konstruierte schon im Jahre 1878 eine derartige Presse, die er im Jahre 1879 patentieren[1] liess, und die von der Genfer Firma Usine de la Coulouvrenière gebaut wurde.

Sie war vertikal gebaut, das Kabel trat oben ein und an einer seitlichen Öffnung aus. Die Füllung erfolgte mit Blöcken kalten Bleies im oberen Teil der Presse. Der hydraulische Antrieb war im unteren Teil angeordnet.

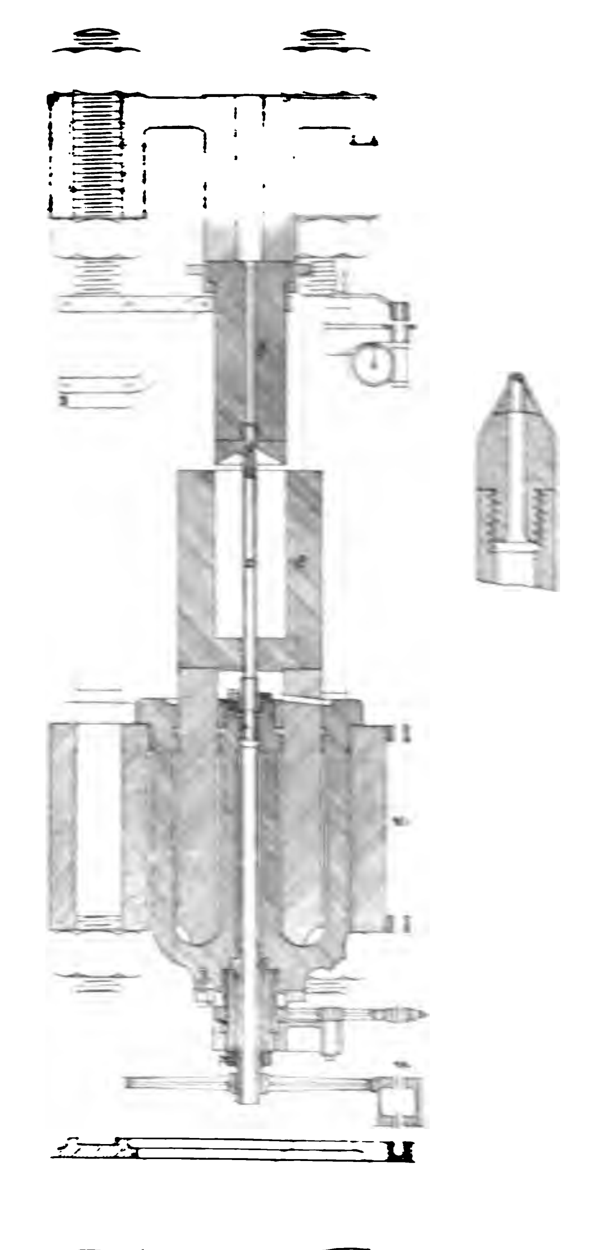
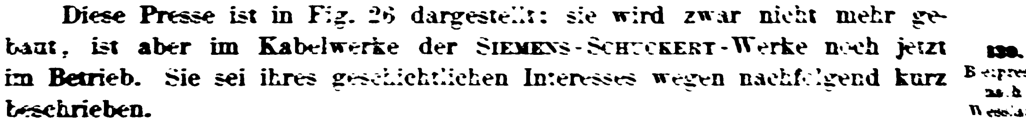


Fig. 26.

Nach Wesslaus Angaben wurde im Jahre 1881 von Hoppe eine vertikale Bleipresse gebaut, die im Jahre 1882 patentiert[2] wurde. Das Kabel wurde unten eingeführt und kam oben heraus.



Diese Presse ist in Fig. 26 dargestellt; sie wird zwar nicht mehr gebaut, ist aber im Kabelwerke der Siemens-Schuckert-Werke noch jetzt im Betrieb. Sie sei ihres geschichtlichen Interesses wegen nachfolgend kurz beschrieben.

130. Bleipresse nach Wesslau.

1) D. R. P. 9980.
2) D. R. P. 23176.

Der hydraulische Zylinder ist von ringförmigem Querschnitt und bietet den Vorteil einer geraden Einführung sehr starker und wenig biegsamer Kabelseelen; er gestattet ferner eine teilweise Anbringung der zur Bewegung des Dornes D erforderlichen Teile.

Durch die Bewegungsteile, die am unteren Teil des hydraulischen Zylinders angebracht sind, ist eine vertikale Verschiebung des Dornes möglich, und zwar findet die Abwärtsbewegung desselben vor der Füllung des oberen Zylinders mit Weichmetall statt, während die Aufwärtsbewegung darauf erfolgt. Der obere Teil des Dornes ragt, wie aus der Zeichnung Fig. 26 ersichtlich ist, in den kegelförmig ausgedrehten Boden des Stempels S, durch welchen der Austrittsquerschnitt für den Metallmantel gebildet wird. Bei einer Neufüllung des Zylinders C wird der Dorn bis unter die Unterkante des Stempels gesenkt, um diesen durch seitliche Verschiebung von der Mündung des Zylinders entfernen zu können.

Die Hebung und Senkung des Dornes findet durch die Welle W_1 statt. Auf derselben ist das Getriebe G_1 angeordnet, welches mittelst eines Zwischenrades in die gezahnte Mutter M greift. Der Dorn wird durch Drehung dieser Welle in seine tiefste Stellung gebracht und der Stempel horizontal hinweggeschoben, worauf die Neufüllung des Zylinders C beginnen kann.

Nachdem dann der Stempel in seine frühere Lage gebracht ist, wird durch Drehung der Welle W_1 im entgegengesetzten Sinne der Dorn wieder hochgeschoben und durch den Bund B gegen vertikale Verschiebung in der richtigen Lage gehalten.

Zur Verkürzung oder Verlängerung des Dornes liegt eine zweite Bewegungsvorrichtung in dem oberen Teil des Hohlraumes des hydraulischen Zylinders, welche den Zweck hat, die Wandstärke des Rohres während des Betriebes beliebig ändern zu können. Eine Verlängerung des Dornes bedingt eine dünnere und eine Verkürzung eine dickere Wandstärke.

Um eine Veränderung in der Länge des Dornes zu erzielen, ist noch eine weitere Welle W_2 angeordnet, welche mit dem unteren Teile des Dornes durch starke Zahnradübersetzung verbunden ist. Der obere Teil des Dornes ist durch das sechseckige Führungsstück F gegen Drehung gesichert und bei A mit dem unteren Dornstück verschraubt. Sobald nun die Welle W_2 und mit derselben der untere Teil des Dornes gedreht wird, schraubt sich der obere Teil desselben, der Drehrichtung entsprechend, in diesen hinein und verkürzt sich, bezw. er wird herausgeschraubt und verlängert sich, wodurch sich die Austrittsöffnung für das Weichmetall, welche durch Stempel und Dorn gebildet wird, direkt verändert.

Die Wandstärke des Rohres, welche sich entsprechend der Anzahl der Drehungen der Welle ändert, kann an einem Zählwerk, welches mit der Welle W_2 verbunden ist, direkt abgelesen werden.

Die Herstellung genau zentrischer Röhren ist ein ebenso wichtiger Faktor wie die Anfertigung beliebig starker Metallmäntel. Infolge verschiedener Dichtigkeit des Metalles ist der Teil des Dornes, auf dem während des Durchlaufens des Presshubes der Metalldruck wirkt, natürlich einer Verschiebung aus der Pressenachse ausgesetzt und es kann schliesslich die Fabrikation eines Rohres unmöglich werden. Um nun die Herstellung exzentrischer Röhren zu vermeiden, ist eine sogenannte Rippelspitze n auf den Dorn lose und getrennt von demselben aufgesetzt.

Diese Rippelspitze *n*, deren oberer Teil in das Stempelloch hineinragt, hat eine freie Bewegung, da ihr Sitz kugelförmig ausgedreht und dem oberen Dornende angepasst ist, so dass eine seitliche Verschiebung des Dornes zur konzentrischen Austrittsöffnung nicht erfolgen kann, zumal der obere Teil der Rippelspitze durch das austretende Metall stets genau in der Mitte gehalten wird.

Durch Form und Grundfläche dieser Rippelspitze ist dafür gesorgt, dass ein Hochheben derselben vermieden wird; der Metalldruck wird beim Betrieb die Reibung stets überwiegen. Andererseits ist ein vollkommen dichter Abschluss der Kugelfläche gesichert und trotzdem eine Verschiebung zwischen Dorn und Rippelspitze stets möglich.

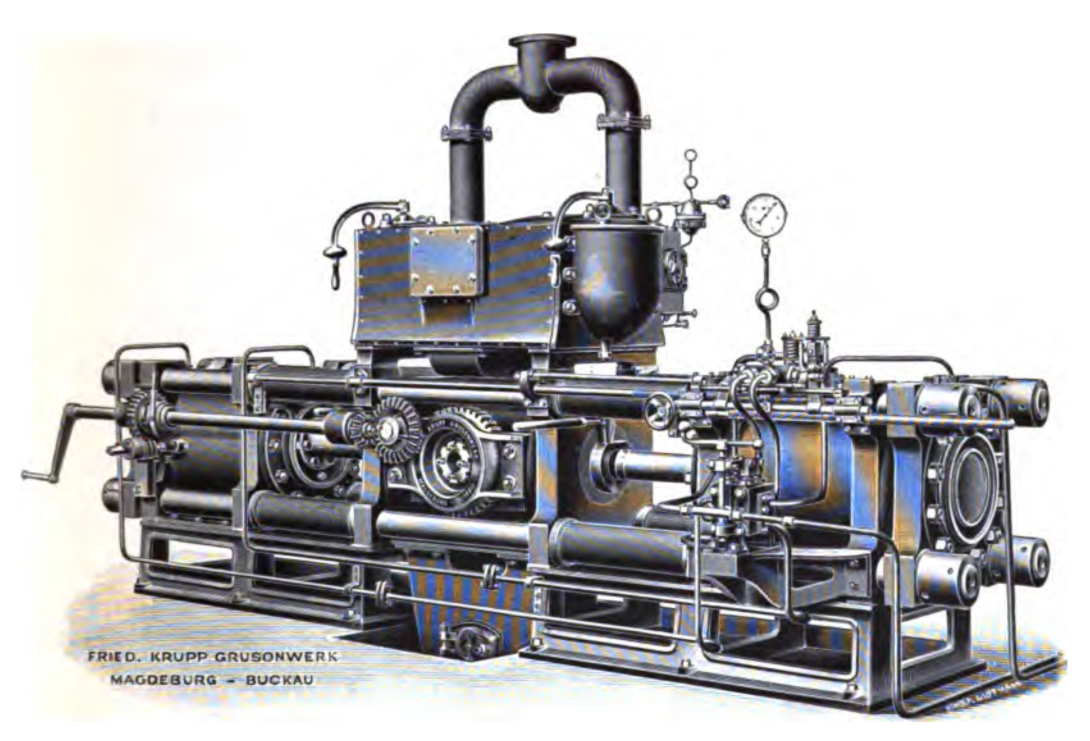


Fig. 27.

140. Kabelpresse von Huber.

Huber konstruierte eine Kabelpresse, die im Prinzip von den vorhergehend beschriebenen abweicht. Statt der vertikalen Anordnung ist eine horizontale gewählt worden, wodurch eine leichtere Bedienbarkeit der Presse ermöglicht ist. Sie ist patentiert durch D. R. P. 42179 und wird von der Firma Fried. Krupp, A. G. Grusonwerk, gebaut. Da sie die vertikalen Pressen nahezu verdrängt hat und fast ausschliesslich für die Herstellung von Bleikabeln verwendet wird, so sei sie ausführlich beschrieben (Fig. 27), wobei einer Beschreibung der Presse von Dr. Baur gefolgt wird.[1])

Gemeinsam auf einem stabilen Fundamentrahmen ruhen zwei hydraulische Zylinder, zwischen welchen der zur Aufnahme des Bleies bestimmte

1) Dr. Baur, Das elektrische Kabel, S. 306. Die Abbildungen stellte das Grusonwerk zur Verfügung.

Behälter, der Bleirezipient, eingebaut ist. Ihre Anordnung ist so getroffen, dass die Mittellinien der Zylinder genau ineinander fallen und senkrecht zur Mittellinie des Rezipienten liegen.

Vier kräftige Eisenstangen halten die drei Körper zusammen. Sie tragen an ihren Enden starke Stahlmuttern, welche den beim Pressen auftretenden hohen Druck aufnehmen können. Um eine bestimmte Entfernung zwischen dem Rezipienten und den Zylindern zu erhalten, sind zwischen denselben Rohre über die verbindenden Bolzen geschoben, welche beim Zurückfahren der Presskolben den Druck aufnehmen.

Ist der Druck an beiden Seiten gleich, so ist das System in Ruhe, ist er jedoch ungleich, d. h. arbeitet einer der Zylinder weniger als der andere, so wird der Rezipient verschoben, sobald der Überdruck gross genug ist.

In der Abbildung sind die Pistons, die Bleibüchse und die Zentriervorrichtung deutlich sichtbar.

Die Kurbel, links, welche sich an einer horizontalen Achse mit Zahnräderübersetzung befindet, dient zum Ein- und Ausschrauben des Matrizenhalters. Aus der Abbildung sind ferner die Rohrleitungen für das Speisewasser, und am rechten Zylinder oben zwei Sicherheitsventile, das Regulierventil und ein Manometer, unten dagegen das Steuerventil zur Inbetriebsetzung der Presse zu sehen.

Der Rezipient wird durch eine Feuerung, die sich unter demselben befindet, angeheizt. Der Schmelzkessel, welcher sich über dem Rezipienten auf der Rückseite befindet, wird mit Petroleum gefeuert. Über dem Schmelzkessel bildet das gabelförmige Rohr den Abzug für beide Feuerungen und endet in einem Schornstein.

Aus der Abbildung sind auch die Hebel zum Öffnen der Ablaufventile, rechts einer der Ablaufstutzen, sowie ein Fülltrichter ersichtlich.

Die Firma Fried. Krupp, A.-G. Grusonwerk, baut die Presse in zwei Modellgrössen, und zwar:

Durchmesser der Presszylinder . . .	380	und	495	mm
Kolbenhub	400	„	600	„
Bohrung des Rezipienten	108	„	146	„
grösster Durchmesser des Bleirohres .	65	„	85	„
nutzbare Füllung	85	„	175	kg
Inhalt des Schmelzkessels circa . .	1300	„	1800	„

Je nach der Stärke des zu fabrizierenden Kabels und des Bleigewichtes des Rohres ist die Leistung jeder Presse verschieden, auch spricht es mit, ob ein gut geschultes Personal an der Presse arbeitet, um diese mehr oder weniger erfolgreich ausnutzen zu können.

Im allgemeinen werden zur Bedienung der grossen Presse fünf Mann verlangt, wenn dieselbe mit Petroleumfeuerung betrieben wird, sonst ist ein Mann mehr erforderlich. Die kleinere Type wird sehr wenig verwendet.

In Fig. 28 ist ein Schnitt durch den hydraulischen Zylinder dargestellt. Derselbe besteht aus Stahlguss und ist an der Innenseite mit einem besonders konstruierten Kupfermantel ausgerüstet. Vorn ist der Zylinder durch kräftige Schraubenbolzen mit einem Deckel abgeschlossen und einem Lederring abgedichtet. An der anderen Seite befindet sich am Zylinder ein Ring, dessen Bohrung dem Durchmesser des hydraulischen Kolbens gleichkommt.

Das Speisewasser wird durch Kanäle zugeführt, die auf den Oberkanten der Deckel einmünden.

Der hydraulische Kolben trägt am inneren Ende den Pressstempel aus geschmiedetem KRUPPschen Spezialstahl, dessen Kopf abschraubbar eingerichtet und aus einer Bronze hergestellt ist, die sich mit Blei auch bei hoher Temperatur nicht legiert.

Der Kolben ist gegen Wasserverlust durch drei Systeme von Lederdichtungen gesichert, um einem Wasserdruck von 100 bis 200 Atmosphären beim Pressen und 20 bis 50 Atmosphären beim Zurückfahren zu genügen.

In der Verlängerung der Achsen der hydraulischen Zylinder liegen die Bleibüchsen, welche mit zwei konischen Bohrungen in vertikaler Achse, dem Fülloch und Luftloch, versehen sind.

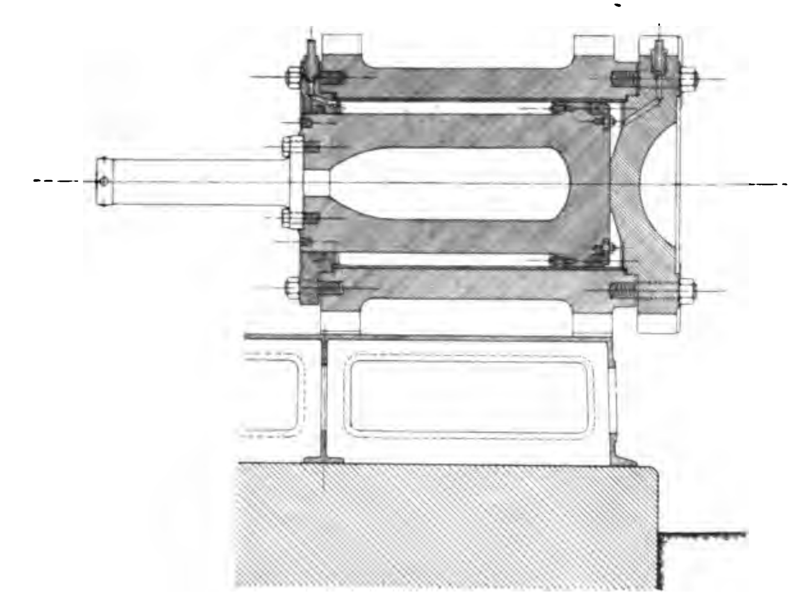


Fig. 28.

Sie sind in einen Stahlmantel eingeschraubt, bestehen aus geschmiedetem KRUPPschen Spezialstahl und stellen den Rezipienten dar. Ein zweiter Mantel aus Stahlguss schliesst denselben und ermöglicht in dem freien Raume das Zirkulieren der Verbrennungsgase der Heizung, da der Rezipient beim Pressen bis auf 150° C. erwärmt wird. Im oberen Teil desselben befindet sich ein Schieber, um den Zug zu regulieren und die Verbrennungsgase entweichen zu lassen.

In einem viereckigen, gusseisernen Kasten über dem Rezipienten ist der Schmelzkessel gelagert, der eine ovale Form hat und aus Stahlguss besteht. An beiden Seiten befinden sich die in Traversen festgehaltenen Vertikalstangen, am unteren Ende des Kessels die Ventilsitze. Von unten sind Ablaufstutzen eingeschraubt zur Verlängerung des Kanals für den Ablauf des Bleies.

Auf der Seite des Kabeleintrittes befindet sich die Heizung, welche einmal zum Anheizen des Rezipienten und ferner zum Schmelzen des Bleies erforderlich ist.

Bei Petroleumheizung werden für die untere Heizung zwei, für die obere drei Brenner verwendet. Ein anderes Heizsystem einzurichten ist nicht ratsam, da es grössere Aufsicht erfordert.

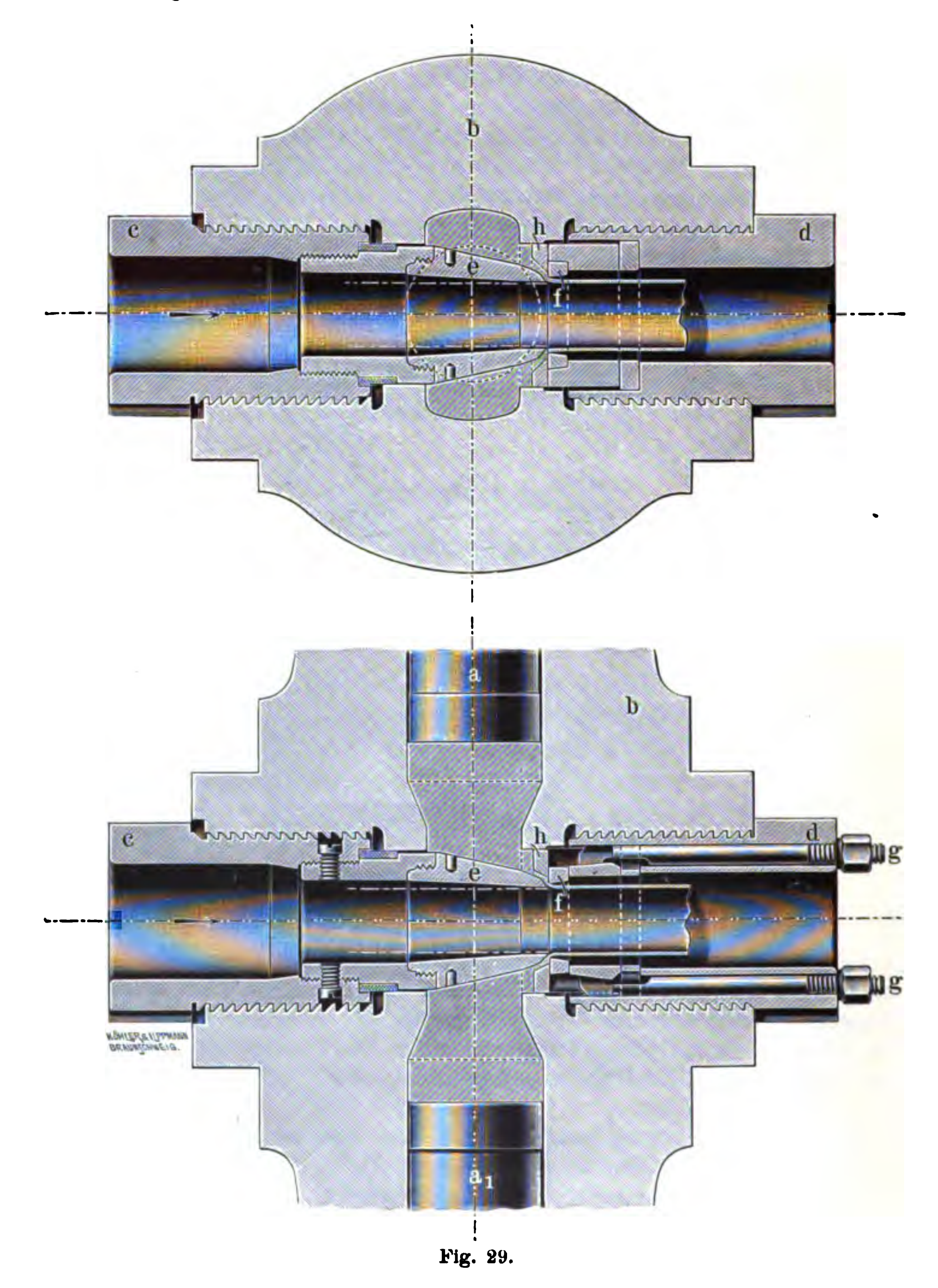


Fig. 29.

Die Bildung des Bleirohres geschieht nur durch Dorn und Matrize,[1]) und zwar ist durch die Bohrung der Matrize der äussere Durchmesser gegeben,

1) D. R. P. 122 452.

während der Raum zwischen Dorn und Matrize die Wandstärke des Bleirohres bestimmt.

In Fig. 29 ist ein vertikaler und horizontaler Schnitt durch die Mitte der Presse gelegt. Dornhalter *c* und Matrizenhalter *d* sind mit die wichtigsten Teile der Presse. Der Hohldorn *e* ist in den Dornhalter *c* eingeschraubt, dagegen ist die Matrize *f* in dem Matrizenhalter *d* verstellbar gelagert.

Die Matrize ruht in einem Stück, welches durch vier Zentrierschrauben eine Verschiebung erfahren und genau zentrisch zum Dorn eingestellt werden kann, wodurch genau gleichwandige Bleimäntel hergestellt werden können. Die Bohrung des Hohldornes wird so gross gewählt, dass das Kabel vor der Umpressung ohne Spiel, aber ungehindert hindurchgeht. Durch eine entsprechende Verstellung des Hohldornes gegen die Matrize, oder umgekehrt,

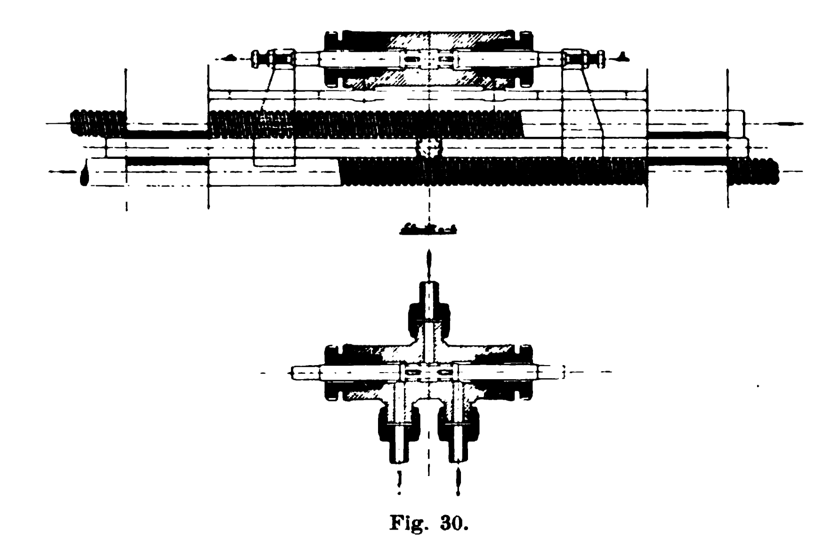


Fig. 30.

kann die Wandstärke des Bleimantels in gewissen Grenzen geändert, oder auch fest bezw. lose um das Kabel gepresst werden.

Der Hohldorn ist an der Spitze noch mit einer Hohlkehle versehen, welche Ausführung nebst einem besonders geformten ovalen Grundring *h* von der Firma Fried. Krupp konstruiert ist.

Bei dem eingesetzten ovalen Ring liegt der geringere Durchmesser horizontal, der grössere dagegen vertikal und ist dazu bestimmt, den Bleidruck über die Peripherie des Rohres gleichmässig zu verteilen, bezw. den Abfluss des Bleies an allen Seiten zu regeln. Die früher verwendete runde Form des Grundringes hat stets beim Pressen grösserer Rohre Faltenbildungen verursacht, doch sind diese nach Einführung des ovalen Ringes und richtiger Wahl der Dimensionen vollständig zu umgehen.

Zwischen Pumpe und Zylindern ist ein Sicherheitsventil eingeschaltet, durch welches automatisch der Zufluss des Speisewassers unterbrochen wird, sobald die hydraulischen Kolben zu weit hinaus- oder hineinfahren. Das Speisewasser strömt dann sofort zur Pumpe zurück und die Zylinder hören auf zu arbeiten.

Da es meist mühsam ist, das geöffnete Ventil wieder zu schliessen, so bringt man am besten eine Alarmvorrichtung an, die das Erreichen der beiden Grenzlagen rechtzeitig anzeigen muss.

Ein Sicherheitsventil verhindert, dass der Wasserdruck über 250 Atmosphären steigt.

Um zu erreichen, dass die beiden hydraulischen Kolben an der Presse mit gleicher Geschwindigkeit arbeiten, ist ein Regulierventil konstruiert, welches in Fig. 30 im horizontalen und vertikalen Schnitt dargestellt ist. Geht ein Kolben langsamer als der andere vor, wird der Bleizufluss und infolgedessen auch die Rohrdicke ungleich. Wirkt nun beim Anfahren nur ein Kolben, so erscheint sogar ein Loch an der Stelle des in der Fabrikation stehengebliebenen Bleimantels. Es kann sogar vorkommen, dass durch den ungleichen Druck der Kopf des Dornhalters verbogen oder abgebrochen wird.

Das Regulierventil lässt durch das hintere Rohr das Druckwasser ein, welches sich auf zwei Rohre verteilt, deren jedes nach einem der beiden hydraulischen Zylinder führt. Je nach Stellung des Schieberkolbens kann man der einen oder anderen Seite mehr oder weniger Wasser zuführen und dadurch die Kolben auch dann in gleicher Bewegung halten, wenn einer derselben durch eventuelle Undichtigkeit Wasserverluste oder stärkeren Druck zu überwinden hat. Eine automatische Verschiebung des Kolbens erreicht man durch die Lenkstangen und das Lenkrad des Regulierventils, welche Vorrichtungen aus Fig. 30 erkennbar sind. An der unteren Lenkstange ist noch ein Handrad angeordnet, vermittelst dessen dem Kolbenschieber nachgeholfen werden kann, wenn die Wirkung der automatischen Einstellung nicht genügen sollte, was jedoch kaum eintrifft. Es kann jedoch Verwendung finden, wenn die Presse mit einem Zylinder betrieben werden soll.

Zwischen dem Regulierventil und den Zylindern ist das Steuerventil angeordnet, welches die hydraulischen Zylinder vor- oder rückwärts in Gang setzt. In das Steuerventil sind vier Doppelventile eingelassen (Fig. 31), die durch einen Hebel alle gleichzeitig umgeschaltet werden können. Aus der Abbildung ist die Ventilstellung für das Zusammenfahren der Kolben ersichtlich. Das Druckwasser tritt von hinten ein, geht nach oben, an den Ventilsitzen vorbei und bei *a* nach rechts und links zur Hochdruckseite. Das Rückflusswasser strömt gleichzeitig unten bei *d* ein, geht nach vorn an dem Ventil entlang in die Höhe und schliesslich nach vorn und in das Reservoir zurück.

Wird nun das Ventil umgestellt, so sind die beiden hinteren Ventilstangen nach unten geöffnet, die beiden vorderen dagegen nach oben. So tritt das Druckwasser durch die beiden unteren seitlichen Rohre und die Kolben gehen wieder zurück.

Durch eine an der Kabelpresse angeordnete sinnreiche Kühlvorrichtung ist man auch imstande, solche Kabel mit einem Bleimantel zu umpressen, welche keiner wesentlichen Wärme ausgesetzt werden dürfen, also Kabel mit Guttaperchaisolation u. s. w. Die Kühlvorrichtung ist sowohl an der Seite der Matrize als auch an derjenigen des Dornes angeordnet und besteht aus mehrwandigen Rohren, deren Hohlräume vom Kühlwasser durchströmt werden.

Diese einfache Konstruktion verhütet sehr sicher eine Beschädigung der Isolierung.

Schliesslich ist noch für das sichere Funktionieren der HUBER schen Kabelpresse ein Pumpwerk erforderlich, welches eine wesentliche Veränderung seiner Tourenzahl zulässt und das Druckwasser gleichmässig zuführt.

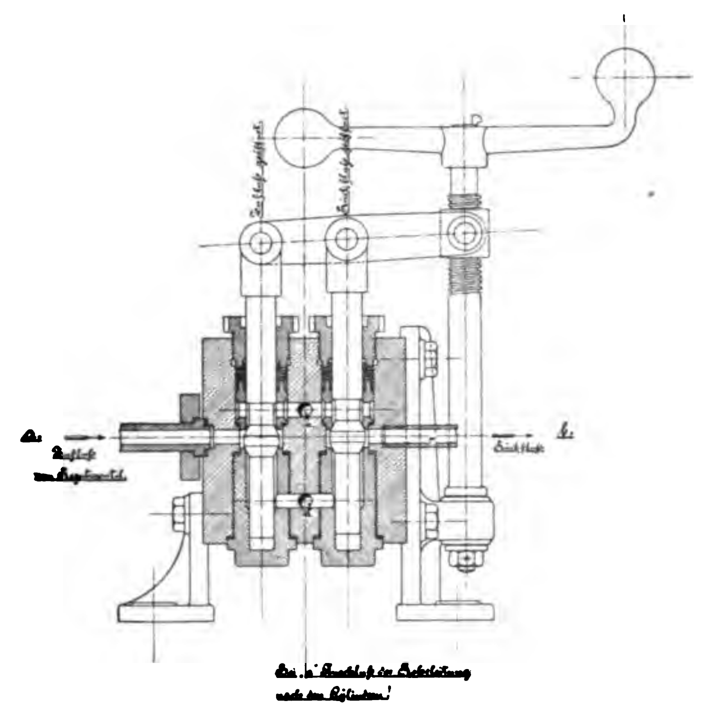


Fig. 31.

Schnitt a-b.

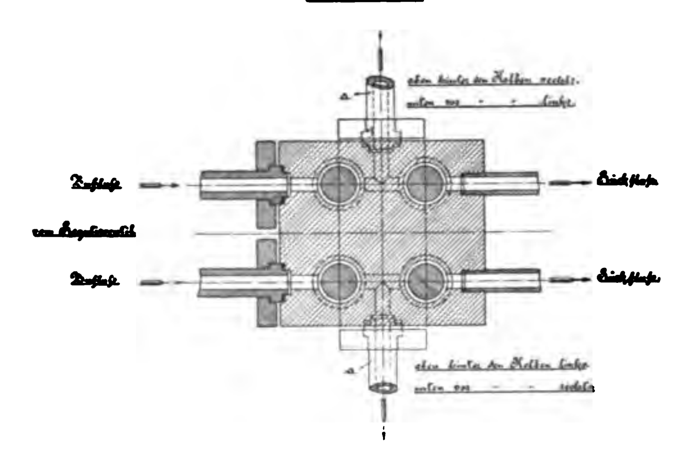


Fig. 31 a.

Die Pumpe hat doppelseitigen Dampfantrieb, drei hydraulische Kolben und zwei Schwungräder; sie muss bei jedem Druck anlaufen und eine Tourenregulierung von 20 bis 125 pro Minute gestatten.

Der Bleimantel.

141. Das Blei.

Um einen vollkommen homogenen Bleimantel zu erreichen, muss das zur Verwendung kommende Blei frei von Oxyden und Verunreinigungen sein. Die Bleipressen sind mit Vorrichtungen ausgestattet, welche Fremdkörper oder dergleichen im Bleikessel zurückzuhalten geeignet sind. Bei der Fabrikation muss man sehr sorgfältig zu Werke gehen, damit Schmutz u. s. w. nicht in die Bleipresse gelangen kann.

Um den Bleimantel gegen chemische Einflüsse besser zu schützen, hat man dem Blei Zusätze von Zinn (bis 3 %) gegeben. Beide Metalle mischen sich jedoch äusserst schlecht, so dass der Mantel an einer Stelle einen grossen, an einer anderen dagegen nur einen minimalen Zinngehalt aufweisen wird. Da Zinn aber spröder als Blei ist, so können Mäntel mit Bleilegierungen an den Stellen grössten Zinngehaltes bei der Umpressung bezw. bei der Verlegung leiden.

Hoher Gehalt von Antimon und Arsen geben dem Blei eine grössere Härte.

Der Schmelzpunkt des Bleies liegt bei 334°, es siedet bei lebhafter Weissglut und entwickelt hierbei sehr giftige Dämpfe.[1])

Das spezifische Gewicht beträgt 11·25 bis 11·39.

Tabelle No. 40.

Analysen verschiedener Sorten von Weichblei.

	Blei	Kupfer	Antimon	Eisen	Zink	Silber	Wismut	Nickel	Spez. Gew.	Erzeugungsort
a) Frischblei	99·7912	0·060	0·134	0·003	0·004	0·0028	Spuren	0·005		Oberharz; mittlere Zusammensetzung
	99·9892	0·041	0·061	0·002	0·004	—	—	—		Kommern, Eifel
	99·658	0·055	0·285	—	—	0·002	—	—	11·343	Schemnitz
	99·901	0·075	0·017	—	—	0·007	—	—	11·362	Kremnitz
b) Pattinsonblei	99·9662	0·015	0·010	0·004	0·001	0·0022	0·0006	0·001		Oberharz; mittlere Zusammensetzung
	99·9847	0·0024	0·0012	0·001	—	—	—	0·0007		Ramsbeck
	99·952	0·026	0·007	0·006	0·009	—	—	—		Stolberg
	99·9927	0·0010	0·0008	0·0034	0·0012	0·0008	—	0·0001		Přibram
c) Durch Zink entsilbert	99·9831	0·0014	0·0057	0·0023	0·0008	0·0005	0·0055	0·0007		Lautenthal, Oberharz
	99·9877	0·0020	0·0033	0·0012	0·0008	0·0007	0·0036	0·0007		Altenau
	99·9946	0·0012	0·0019	0·0010	0·0008	0·0005	—	—		Mechernich, Eifel
	99·9834	0·0093	0·0021	0·0008	0·004	0·0004	—	—		

142. Stärke des Bleimantels.

Die Stärke des Bleimantels ist abhängig von der Stärke des zu umpressenden Kabels und wird etwa mit 5 % vom Kabeldurchmesser mit einem festen Zuschlag von 1 mm angenommen. Dieser Regel entsprechen auch die Bleidicken in den später wiedergegebenen Kabelnormalien. Bei 16 mm² beträgt die Dicke etwa 1·5, bei Kabeln von 1000 mm² 3 mm.

1) Über den Schutz der Arbeiter vgl. Gesetz vom 12. April 1886.

Da Unreinigkeiten und Luftblasen den fortlaufenden Bleimantel unterbrechen können, so werden statt eines häufig doppelte Bleimäntel angeordnet, zwischen denen dann eine Compoundschicht liegt.

In diesem Falle beträgt die Stärke jeden Bleimantels etwa die Hälfte von dem oben angegebenen Werte. Indessen haben doppelte Bleimäntel nicht den Wert, der ihnen vielfach beigemessen wird.

143. Fehler im Bleimantel.

Mitgerissene Metallteilchen, Luft im Rezipienten bewirken Fehler im Bleimantel. Um grobe Fehler sofort zu finden, steht ein Mann an den Bleipressen, welcher das umpresste Kabel beim Austritt einer oberflächlichen Besichtigung unterzieht. Grössere Löcher werden hierbei gefunden. Sie werden, wenn möglich, durch Lötung beseitigt.



Fig. 32.

Nach jedesmaliger Entleerung der Bleipresse tritt ein Stillstand in der Fabrikation ein. Die Kolben werden zurückgezogen und die Presse neu gefüllt. Beim Ingangsetzen muss vorsichtig angefahren werden, hauptsächlich ist darauf zu achten, dass beide Zylinder gleichmässig einsetzen, da sonst an der Anschlussstelle eine Öffnung im Bleimantel entstehen kann.

Die Anschlussstelle markiert sich am Kabel, indem ein etwas erhabener Ring, welcher um den Bleimantel läuft, auftritt. Diese Marke wird Bambusring genannt.

Arbeitet die Presse stossweise, so können Falten gebildet werden.

Sind grobe Fehler aufgetreten, so muss der Bleimantel abgeschält werden.

Durch die einfache Besichtigung können aber naturgemäss nicht alle Fehler gefunden werden; der Bleimantel kann von ganz feinen Löchern

durchsetzt sein, auch können die Faserstoffe Feuchtigkeit aufgenommen haben, so dass keine genügende Isolation erreicht ist.

Diese Fehler werden nunmehr durch eine Reihe von Messungen aufgesucht, welche sich auf die Feststellung der Höhe der Isolation und der Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen erstrecken; sie werden später gesondert behandelt.

144. Prüfung des Bleimantels im Wasserbad.

Die Kabel werden zu diesem Zwecke, wie sie aus der Bleipresse kommen, in Wasserbottiche gelegt, in welchen sie 24 Stunden verbleiben. Fehler im Bleimantel werden hier in der Regel aufgefunden, da das Wasser von den Faserstoffen, aus deren Poren die Luft evakuiert wurde, begierig aufgenommen wird. In den Fällen jedoch, wo die Tränkmasse Öffnungen im Bleimantel gut verschliesst, können diese Fehler auch im Wasserbade nicht gefunden werden.

Fig. 32 veranschaulicht die Prüfbassins im Kabelwerk der Siemens-Schuckert-Werke.

Die Panzerung.

145. Schutz des Bleimantels durch nochmaliges Plattieren.

Ist durch die Prüfung festgestellt, dass das Kabel den Lieferungsbedingungen entspricht, überhaupt fehlerfrei ist, so kann das Kabel in der vorliegenden Form in verschiedenen Fällen verwendet werden oder der Bleimantel wird zum Schutz gegen chemische Einwirkungen noch mit zwei in entgegengesetzten Richtungen laufenden Umspinnungen versehen, deren jede sofort mit flüssigem Teer getränkt wird. Hierdurch wird der Bleimantel auch gegen den beim Panzern auftretenden Druck geschützt.

In Fig. 20 sind die heizbaren Tränkbehälter deutlich erkennbar. Die erhitzte Masse wird in reichlicher Menge mit Hilfe einer runden Scheibe über das umsponnene Kabel geleitet, der Überschuss von einem Ring, durch welchen das Kabel läuft, abgestrichen. Teer bleibt aber klebrig und weich, so dass häufig als obere Schicht eine Asphaltschicht aufgelegt wird.

Um diese abzukühlen und zu vermeiden, dass die einzelnen Kabelringe aneinander kleben, wird das Kabel noch durch ein Bad mit Kalkmilch geleitet, ehe es über die Abzugsscheibe zur Trommel läuft.

Derart hergestellte Kabel sind gut verwendbar, wo eine mechanische Verletzung des Kabels unter keinen Umständen erwartet werden kann. Aber schon bei der Verlegung können solche Beanspruchungen auftreten, dass der Bleimantel beschädigt wird, so dass hierbei die allergrösste Vorsicht geboten ist.

Wo aber mechanische Beanspruchungen erwartet werden können, sei es, dass äussere Eingriffe möglich sind, wie z. B. bei der Verlegung in Strassen, sei es, dass die Verlegung sehr schwierig oder auch das verlegte Kabel dauernd auf Zug beansprucht wird, muss es einen weiteren Schutz erhalten, der in dem Panzer, der Armatur, besteht.

Sie kann aus Eisenband oder aus Eisendrähten hergestellt werden; die letztere kann offen oder geschlossen gewählt werden, je nachdem die Drähte völlig decken, oder nur in offener Spirale das Kabel umkreisen (Fig. 34).

Einen ausreichenden Schutz bietet diese Panzerung allerdings nicht gegen gewaltsame mechanische Eingriffe. Bandeisenarmierung darf auch nicht für Kabel Verwendung finden, die aufgehängt oder vom Schiff aus verlegt, überhaupt auf Zug beansprucht werden sollen. Für diese kommt allein die Eisen- bezw. Stahldrahtarmatur zur Anwendung.

Für Grubenkabel muss die Drahtarmatur eine solche Zugfestigkeit besitzen, dass sie beim Einhängen das Kabel in einer Fabrikationslänge frei tragen kann.

146. Eisenbandpanzer.

Das Prinzip der Umwicklung eines Kabels mit Band, auch Eisenband, ist auf Seite 82 schon beschrieben. Während aber bei der Umwicklung mit Isolierbändern sich die einzelnen Gänge überlappen, wird das Eisenband in offenen Spiralen um das Kabel gelegt. Es bleibt somit stets ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Gängen, der nach der Bandbreite eingestellt wird und etwa 4 bis 8 mm beträgt. Um nun einen vollkommenen Schutz zu erreichen, wird über das erste Band ein zweites gelegt (Fig. 33), welches nunmehr so angeordnet wird, dass es den Schlitz vollständig bedeckt. Trotz der Sprödigkeit des Eisenbandes wird durch diese Anordnung eine gewisse Beweglichkeit gewahrt. Die sich zwischen den einzelnen Gängen ergebenden Hohlräume sind geeignet, Feuchtigkeit aufzunehmen und werden daher da-



Fig. 33.

durch ausgefüllt, dass vor der Umwicklung das Kabel mit einer dichten Compoundschicht umgeben wird, die sich bei der Umwicklung in die Zwischenräume presst.

147. Eisenband-Panzerungsmaschinen.

In Fig. 35 ist eine Eisenband-Panzerungsmaschine der Firma Brüder Demuth, Wien, dargestellt, welche dazu dient, das Kabel mit der Eisenbandarmatur zu versehen. Hinten ist der Elektromotor und ein Vorgelege zu erkennen, durch welches die Geschwindigkeit reguliert werden kann. Die Transmission läuft durch die ganze Länge der Maschine und treibt die zu derselben erforderlichen Apparate an. Die Maschine wird den speziellen Fabrikationsbedürfnissen angepasst, doch sind im allgemeinen der Reihe nach erforderlich:

1. ein Tränkapparat,
2. ein Jutespinner,
3. ein Tränkapparat,
4. ein Bandwickler,
5. ein Tränkapparat,
6. ein Jutespinner,
7. ein Tränkapparat,
8. ein Kalkrad.

Ein weiterer Bandwickler und Tränkapparat ist erforderlich, wenn über dem mit bituminöser Masse überzogenen Bleimantel eine Papierbandisolation angeordnet werden soll.

Der Wickler für das Aufbringen der Eisenbandarmatur ist dem zu verwendenden Material entsprechend ausserordentlich kräftig gebaut.

Die Spulen lassen sich nach drei Seiten verstellen, so dass die für die jeweilige Bandbreite günstigste Stellung leicht fixiert werden kann. Um

dem Eisenband die nötige Spannung zu geben, sind die Spulen mit einer Bremse versehen.

Wenn die Eisenbänder aufgewickelt sind, werden sie nochmals mit Jute mehrfach umsponnen, wie auch aus der in Fig. 35 gegebenen Anordnung hervorgeht. Jede Umspinnung wird wiederum getränkt. Um eine ausreichende Tränkung zu ermöglichen, sind diese Tränkapparate möglichst lang; die Masse wird sehr heiss aufgetragen.

Im übrigen verläuft der weitere Prozess wie der beim ungepanzerten Kabel übliche.

148. Dimensionen des Eisenbandes. Die Bänder werden in Breiten von 20 bis 40 mm gewählt; ihre Stärke schwankt zwischen 0·5 und 1 mm je nach dem Querschnitt des Leiters. Aus den an anderer Stelle wiedergegebenen Normalien können die genauen Werte entnommen werden. In manchen Abnahmebedingungen steht, dass die Kabel durch Pickenhiebe nicht sollen beschädigt werden können. Um diesen Bedingungen zu genügen, müsste ein Eisenpanzer von mehreren Centimetern gewählt werden; ein solches Kabel zu verlegen wäre unmöglich.



Fig. 34.

Da die Spulen der Bandpanzermaschine nur beschränkte Längen zu fassen vermögen, müssen die Bänder häufig zusammengesetzt werden; es erfolgt dies durch zwei Niete. Die Stosskanten werden nicht rechtwinklig abgeschnitten, da sich derartig verbundene Bänder beim Auflegen verbiegen können.

149. Die Drahtarmatur. Alle Kabel, die grossen Beanspruchungen, insbesondere Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind, erhalten statt der Armatur aus Eisenband eine solche aus Eisendraht.

Findet nur eine verhältnismässig geringe Beanspruchung statt, so wird eine offene Panzerung erfolgen, die dadurch hergestellt wird, dass nicht ausschliesslich Eisendrähte um das Kabel gelegt werden, sondern immer abwechselnd ein Eisendraht und eine entsprechend starke Juteschicht. Fig. 34 zeigt ein derartiges Kabel.

Diese Anordnung der Schutzhülle kann einen genügenden mechanischen Schutz nicht gewähren, sie giebt dem Kabel nur eine grössere absolute

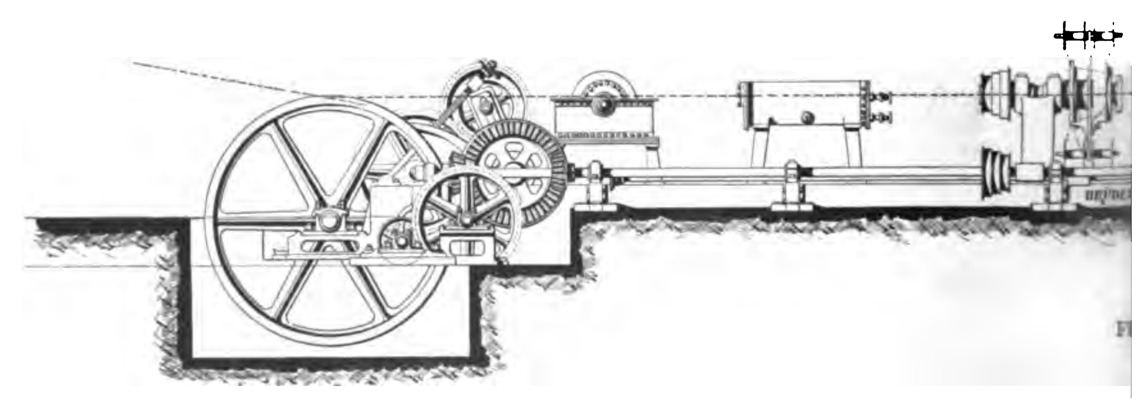




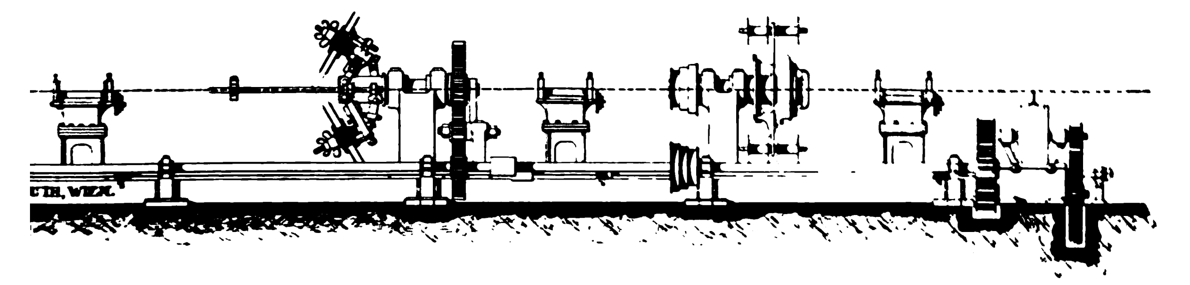
Fig. 36.

Festigkeit. Wesentlich günstiger ist die geschlossene Drahtarmatur. Diese kann auf zwei verschiedene Arten hergestellt werden, unter Verwendung von runden oder von Profildrähten. Die letzteren können aus Flachdraht oder aus Façondrähten bestehen. Bei Verwendung der letzteren beiden wird eine innigere Berührung der einzelnen Drähte untereinander gegeben, es findet bessere Raumausnutzung statt und das Gewicht wird kleiner.

Die Drähte werden zum Schutz gegen Rosten stark verzinkt, auch wohl noch mit einer oder mehreren imprägnierten Juteschichten bedeckt.

Die Verbindung der Armaturdrähte erfolgt durch Schweissen oder Löten mit Silber, Kupfer oder Messing. Die Lötstelle wird wieder verzinkt.

Die Armierung erfolgt mit Hilfe von Seilmaschinen in gleicher Art wie auf Seite 76 schon beschrieben; werden jedoch Façondrähte für die Panzerung verwendet, so muss die Gegendrehung ausgeschaltet werden. Fig. 36 zeigt das Aufbringen einer Drahtarmatur.



5.

Zwischen der Abbildung Fig. 36 und der früher in Fig. 15 dargestellten Anordnung ist noch ein bemerkenswerter Unterschied in der Stellung der Bobinen zu erwähnen. Die Bobinen der Kabellitzmaschine laufen mit Planetenbewegung, d. h. die Bobinenachsen behalten, wie dies aus Fig. 15 deutlich erkennbar ist, bei jeder Stellung der Litzmaschine ihre wagerechte Lage. Dadurch wird ein Drall in den Einzeldrähten, welche die Kabelseele bilden, vermieden, dagegen ist beim Aufbringen der meist aus Flachdrähten bestehenden Armatur diese Anordnung an und für sich durch das Drahtprofil nicht möglich. Deshalb stehen auch die Bobinen bei der Armiermaschine, wie aus Fig. 36 ersichtlich ist, fest.

Die Stärke der Drähte ist verschieden je nach dem Durchmesser und dem Verwendungszweck. Bei Verwendung runder Drähte werden häufig nicht einzelne Drähte nebeneinander gelegt, wie es z. B. Fig. 37 zeigt, sondern auch Seile von je drei Drähten. An anderer Stelle wird der Querschnitt eines Kabels mit einer derartigen Armatur wiedergegeben.

Aus der folgenden Tabelle gehen die Drahtdurchmesser für die Armaturen einiger Kabel hervor.

Tabelle Nr. 41.

Durchmesser der Armaturdrähte für Schacht- und Flusskabel mit leichter Armatur.

Bezeichnung	Spannung	Querschnitt	Form	Dimensionen
Einfach-Schachtkabel . . .	700	bis 10 mm^2	Rundeisen	2 mm ∅
		10—25 „	„	2·5 „
		über 25 „	Flacheisen	1·7 „ Stärke
Verseilte Dreifach-Schachtkabel	3 × 5000	bis 3 × 240	Flacheisen	1·7 mm Stärke
Einfach-Flusskabel mit leichter Armatur	700	95	Rundeisen	5·4 mm ∅
		240	„	7 „ ∅
		500	„	8·6 „ ∅
		1000	„	3×5·4 „ ∅

Tabelle No. 42.

Durchmesser der Armaturdrähte in Millimetern für verseilte Zweifach-Flusskabel mit schwerer Armatur für 7000, 10000, 12000 Volt.

Kupferquerschnitt mm^2	1	1·5	2·5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
bei 7000 Volt	7	7	7	7	7	8·6	8·6	8·6	8·6	8·6	3×5·4	3×5·4
„ 10000 „	—	—	—	8·6	8·6	8·6	8·6	8·6	8·6	3×5·4	3×5·4	—
„ 12000 „	—	—	—	8·6	8·6	8·6	8·6	3×5·4	3×5·4	3×5·4	—	—

150. Kabel mit doppelter Armatur.

Hauptsächlich bei Flusskabeln werden häufig zwei Armierungen angewendet, die durch Juteschichten voneinander getrennt sind.

So haben die vorher erwähnten zweifach verseilten Flusskabel unter der Drahtarmatur zwei innere aus Eisenband von je 1·7 mm Stärke.



Fig. 37.

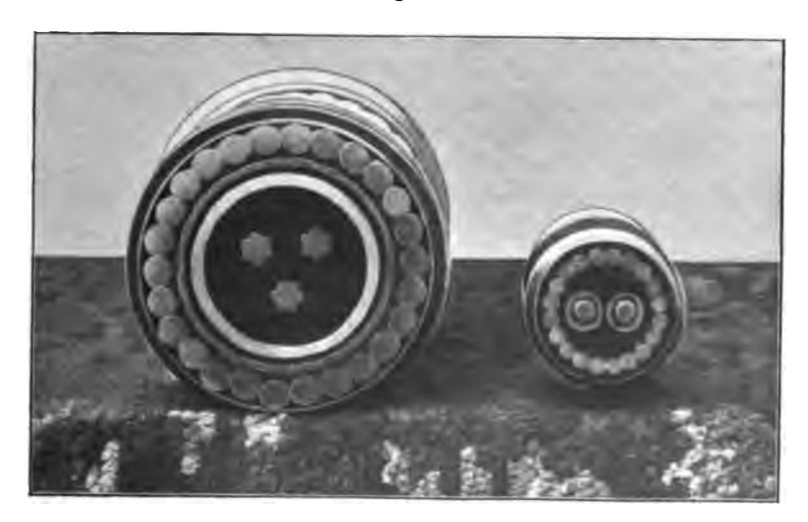


Fig. 37 a.

Fig. 37 zeigt ein Unterwasserkabel der Land- und Seekabelwerke Köln-Nippes, dessen untere Armierung aus flachen, dessen äussere aus Runddrähten besteht.

Die an sich schon genügende Draht- bezw. Eisenbandarmatur erhält noch einen weiteren Schutz gegen schädliche chemische Einflüsse des Erdreiches, in welches das Kabel verlegt wird. Es ist dies eine mehrfache Bespinnung mit Faserstoff und eine Tränkung des letzteren mit Isoliermasse.

151. Fertigstellen der Kabel.

Nachdem nun auch der Vorgang des Bespinnens, Isolierens und der Panzerung für das Kabel beendet ist, wird dasselbe, um ein bequemes Hantieren zu ermöglichen und in erster Linie das Kleben zu verhindern, durch ein Bad mit Kalkmilch gezogen und auf grosse Holztrommeln gerollt (Fig. 18). Die Enden werden, um das Kabel vor dem Eindringen von Feuchtigkeit zu schützen, mit Bleikappen versehen, welche mit dem Bleirohr des Kabels verlötet werden. Diese Kappen müssen aus einem Stück bestehen, damit sie sich bei einem Druck nicht öffnen können.

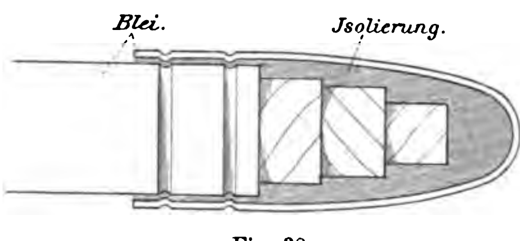


Fig. 38.

Fig. 38 zeigt einen derartigen Transportverschluss nach einer von SIEMENS Bros., London, zur Verfügung gestellten Zeichnung.

Die Trommel darf nicht zu voll aufgerollt werden, damit sich das Kabel beim Transport nicht drückt; die Trommeln müssen die genaue Bezeichnung der Konstruktion und die Länge des aufgerollten Kabels tragen.

Die Versendung von Kabeln in Ringen, in Strohseilen verpackt, kommt bei kürzeren Kabelenden vor, ist aber umständlicher, weil zur Verladung ein Kran und zum Wickeln eine zerlegbare Trommel gehört. In Ringen kann nur eine geringere Kabellänge als auf der Trommel versandt werden.[1])

152. Das Kabelwerk.

Beim Bau eines Kabelwerkes ist Grundbedingung, dass eine bequeme Fabrikation ohne umständliche Transporte ermöglicht wird. DIHLMANN beschreibt[2]) das Kabelwerk der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke am Nonnendamm, wobei dieser Gesichtspunkt besonders hervorgehoben wird.

Aus dem Kupferlager werden die einzelnen Drähte den unmittelbar davor aufgestellten Wickelmaschinen (Fig. 14) zugeführt, wo sie auf Bobinen gespult werden. Unmittelbar hinter den Wickelmaschinen sind die Verseilmaschinen angeordnet, und zwar so, dass die Sterne ihnen zugekehrt sind. Die Spulen können daher auf dem denkbar kürzesten Wege zu den Verseilmaschinen gebracht werden. — Die Verseilmaschinen liefern die Trommeln mit den besponnenen Kabelseelen direkt in den Tränk- und Bleipresseraum, um nach der Umpressung den parallel zu diesem angeordneten Prüfgefässen zugeführt zu werden. Nach der Prüfung gehen von hier die Kabel unmittelbar in die Armierungsmaschinen, wo sie gepanzert werden. Das Lager für die hierzu erforderlichen Eisenbänder und Eisendrähte befindet sich wiederum in unmittelbarer Nähe. Die fertigen Kabel werden dem

1) Die Fabrikationslängen von Kabeln verschiedener Konstruktion und Herkunft können mehreren Veröffentlichungen von SCHMIDT „Die Konstruktion und Fabrikation von Starkstromkabeln" im E. A. 1903 und 1904 entnommen worden.

2) ETZ 1900, S. 477.

anschliessenden Packraum übermittelt, der mit dem Lager und den Transportmitteln zusammen verbunden ist.

Gummi- und Guttaperchakabel.

153. Verwendung der Guttaperchakabel.

Anstatt der Faserstoffe finden Guttapercha und Gummi (Kautschuk) als Isoliermittel vielfache Verwendung.

Die Verwendung der Guttapercha als Isoliermittel ist in erster Linie WERNER SIEMENS zu verdanken, nachdem er ihre Verwendbarkeit im Jahre 1846 gefunden hatte und bereits im Sommer des Jahres 1847 im Auftrage der Königlich preussischen Telegraphenverwaltung eine Versuchsleitung von zwei Drähten eine halbe Meile von Berlin an der Anhalter Bahn entlang verlegte. Diese und auch spätere Versuche waren bahnbrechend für die Einführung unterirdisch verlegter Guttaperchaadern, unterirdisch verlegter Leitungen überhaupt, die man vor WERNER SIEMENS nicht kannte.

Besonders bei unterseeischen Leitungen bietet die Anwendung der Guttapercha als Isoliermittel die grösste Sicherheit, da dieselbe, abgesehen von ihrem hohen Isolationswiderstande, erwärmt sich als bildsamer zäher Teig leicht um Drähte pressen lässt und auch Wasser in keiner Weise aufnimmt. Dagegen ist ihre geringe mechanische Festigkeit, ebenso wie ihre Empfindlichkeit gegen höhere Temperaturen störend. Guttapercha wird daher hauptsächlich für Fluss- und Tiefseekabel, seltener für andere Kabel verwendet.

154. Die Guttaperchapresse.

Die Verwendung der Guttapercha erfolgt in der Weise, dass die rohen Guttaperchablöcke zuerst klein geraspelt und in heissem Wasser eingeweicht werden, um Sand und Unreinigkeiten zu entfernen. Die Masse wird dann zwischen Rauhwalzen klein gerissen, durch ein Sieb getrieben und in die Knetmaschine gebracht, um dann erst für die Verarbeitung in der Guttaperchapresse verwendet zu werden. Dieselbe ist schematisch in Fig. 39 dargestellt. Der im Zylinder *a* laufende Kolben wird durch eine Schraube angetrieben, die durch Dampfkraft in Thätigkeit gesetzt wird. Der Zylinder ist durch Dampf heizbar, damit die eingebrachte Guttapercha stets auf einer bestimmten Temperatur gehalten werden kann. Der Zylinder steht in Verbindung mit einem stabilen Kasten mit zwei seitlichen Öffnungen, von denen die eine zur Aufnahme eines durchbohrten Dornes dient, durch welchen der zu umpressende Draht *c* zugeführt wird. Der Dorn erstreckt sich durch den Behälter bis zu der zweiten, teils konischen Öffnung, aus welcher der Draht austritt. Die Guttaperchapresse hat somit grosse Ähnlichkeit mit der Bleipresse.

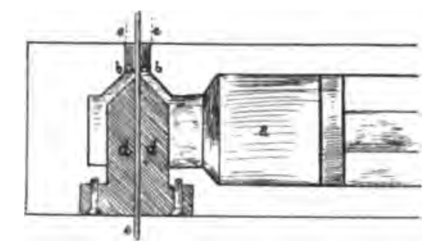


Fig. 39.

Zu jeder Guttaperchapresse gehören zwei Presszylinder, welche gemeinsam auf denselben Kasten arbeiten. Jeder kann für sich durch besondere Ventile abgetrennt werden. Hierdurch ist es möglich, den einen Zylinder zu füllen, während der andere arbeitet und es kann ohne jede Unterbrechung gepresst werden. Die Guttaperchapressen werden so gebaut, dass mehrere Drähte, in der Regel sechs, gleichzeitig umpresst werden können. Der Kasten wird daher mit einer der Zahl der zu umpressenden Drähte entsprechenden Anzahl von Öffnungen ausgerüstet.

155. Das Pressen.

Die Guttapercha wird in die vorerwähnten Zylinder gefüllt, nachdem sie in besonders geheizten Knetmaschinen durch kräftiges Kneten in plastischen Zustand gebracht wurde. Die Füllung hat mit einiger Vorsicht zu geschehen, damit die Masse keine Luft aufnimmt. Luftblasen bedingen Löcher im Guttaperchamantel, oder doch zum mindesten eine Schwächung desselben.

Um ein inniges Anlegen der Guttapercha zu erreichen läuft der Draht, ehe er in die Presse eintritt, durch erhitztes Chatterton-Compound. Die Presskolben drücken nunmehr die Guttapercha durch den konischen Teil der Austrittsöffnung, wo sich dieselbe in einer konzentrischen Schicht um den Draht legt.

Fig. 40 zeigt, wie im Hintergrunde die bereits mit einem Guttaperchamantel versehenen Drähte die Presse verlassen und nun über Rollen, teils durch die Luft, teils durch ein in einem langen Trog befindliches Wasserbad geführt werden, um ein möglichst schnelles Erhärten der Guttapercha zu erreichen. Von hier aus werden die Drähte selbstthätig auf Trommeln gewickelt, um dann für die verschiedenartigsten Kabel und Leitungen verarbeitet zu werden.

Sollen die Adern mit mehreren Mänteln umpresst werden, so geschieht dies in der gleichen Weise, jedoch wird vor der Aufbringung jeder neuen Guttaperchaschicht die Leitung durch Chatterton-Compound gezogen, um wiederum einen innigen Anschluss zu erhalten.

Gummikabel.

156. Gummi als Isolierung.

Viel häufiger als Guttapercha kommt für die Isolierung von Starkstromleitungen Gummi in Frage.

Der Gummi wird[1]), um ihn für die Fabrikation von Leitungen geeignet zu machen, vulkanisiert. Auch unvulkanisierter Gummi, in der Regel in Form von reinem Paragummiband, kommt zur Verwendung.

Wird der Gummi vulkanisiert, so wirken Schwefeldämpfe auf den Kupferleiter, welcher hierdurch angegriffen wird. Auch später noch wirkt das vom Gummi aufgenommene Schwefelchlorür; es bildet sich Schwefelkupfer, der Leiter sieht schwarz aus und wird mit der Zeit zerstört. Der Leiter wird daher verzinnt oder mit einer Baumwollschicht umwunden, ehe der Gummi aufgepresst wird.

Der Gummi wird in verschiedener Weise auf den Leiter aufgetragen. Er wird in Form eines oder mehrerer Bänder, die meistens aus Paragummi bestehen, um die Leiter gewickelt; der Draht wird der Länge nach zwischen zwei Kautschukbänder geführt, die durch Druck miteinander verbunden werden; die Gummihülle wird, wie dies bei der Guttapercha geschieht, in einer oder mehreren Schichten konzentrisch um den Leiter „gespritzt".

Der für die Herstellung von Gummikabeln und Leitungen verwendete Gummi wird selten in reinem Zustande verwendet. Hierfür ist nicht allein die Preisfrage ausschlaggebend, sondern auch die Eigenschaft des reinen Gummi, dass er viel Wasser aufnimmt. Paragummi nimmt bei längerem Liegen im Wasser bis zu 25 % Wasser auf. Sein an und für sich hohes Isolationsvermögen wird hierdurch wesentlich beeinträchtigt.

Es werden daher Mischungen hergestellt, die nur 25—50 % Gummi enthalten, im übrigen aber aus sogenannten Beschwerungsmitteln bestehen.

---

1) Vgl. S. 52 f. dieses Bandes.

Hierfür finden am meisten Verwendung Schwerspat, Schlämmkreide, Ceresin, Gips und gelöschter Kalk, Sägespäne u. dergl.[1])

Durch diese Beimischungen wird der Isolationswiderstand wesentlich geringer, aber auch das Vermögen Wasser aufzunehmen.

Ferner finden Farbstoffe als Zusatz Verwendung wie Bleiweiss, Zinkweiss, Zinnober, Mennige, Ultramarin, Russ etc.

Werden daher verschiedene Gummilagen auf einen Draht gebracht, um einen hohen Isolationswiderstand zu erzielen, so wird dem Leiter am nächsten eine Schicht möglichst reinen Gummis (Paragummi) gelegt. Da dieser dann auch unvulkanisiert verwendet wird, so bedingt diese Anordnung auch einen Schutz des Leiters gegen Zerstörung durch Schwefelchlorür.

Die über dem Paragummi liegende mit Beschwerungsmitteln vermischte Schicht schützt jene gegen Feuchtigkeit.

Bei allen Gummiarbeiten ist die grösste Reinlichkeit erste Bedingung, da jede Verunreinigung zu Fehlern in der Isolierung führen kann.

Während früher die Gummiisolierung, insbesondere auch die mit Gummiband ein vorzügliches Material bildete, ist dies in den letzten Jahren keineswegs der Fall gewesen. Der bis aufs äusserste getriebene Konkurrenzkampf zeitigte Materialien, die mitunter den Namen Gummi gar nicht mehr verdienten. Das Material war unelastisch und zerfiel mitunter schon nach wenigen Monaten in eine dextrinartige Masse.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat sich grosse Verdienste erworben, indem er bei der Schaffung der Draht- und Kabelnormalien grosse Sorgfalt auf die den Gummi betreffenden Bestimmungen legte, wodurch gewissenlosen Fabrikanten die Lieferung schlechten Materials erschwert wird. Ganz lassen sich diese Übelstände jedoch zur Zeit nicht beseitigen, da es keine einzige einwandfreie Methode der Gummiuntersuchung giebt und selbst die chemische Untersuchung, die übrigens äusserst langwierig ist, nicht ausreicht. Das einzige Mittel ist, nur bei absolut zuverlässigen Fabrikanten zu kaufen.

157. Schutz des Leiters gegen die Einwirkung von Schwefelchlorür.

Es werden zwei Hilfsmittel angewendet, um eine Zerstörung des Leiters durch Schwefelchlorür zu vermeiden.

1. Der Leiter wird verzinnt. Um einen ausreichenden Schutz zu erreichen, ist eine gut deckende Zinnschicht erforderlich. Daher genügt in der Regel eine galvanische Verzinnung nicht. Die deutschen Normalien[2]) verlangen daher auch eine Feuerverzinnung.
2. Der Leiter wird mit Baumwolle umsponnen, die wohl auch noch mit Zinkoxyd bestrichen wird.

Schliesslich können auch beide Schutzmittel gleichzeitig verwendet werden.

Die Verzinnung hat auch ferner den Zweck, bei der Herstellung von Abzweigungen und dem Anschluss von Kabelschuhen das Löten zu erleichtern. Dies ist ungemein wichtig, denn je schneller der Lötprozess vor sich geht, um so weniger besteht die Gefahr, dass der Gummi durch zu grosse Hitze zerstört wird. Aus diesem Grunde werden auch solche Leiter gern verzinnt verwendet, welche mit unvulkanisiertem Gummi isoliert werden.

Die Baumwollschicht, welche als zweites Schutzmittel Verwendung findet, gibt dem Leiter einen gewissen Zusammenhalt, dergestalt, dass sie ein Hervortreten einzelner Kupferdrähtchen bei dünnen Seilen vermeidet. Besonders

1) Vgl. ETZ 1901, S. 550.

2) Vgl. UPPENBORN, Kalender 1904, II. Teil, S. 257 u. f.

beim verzinnten Leiter haben diese Drähtchen eine gewisse Sprödigkeit, so dass sie durch die Isolierung hindurchstechen und Kurzschluss hervorrufen können.

Diese Schutzschicht verhindert auch, dass der Gummi so ungemein fest am Leiter festklebt; die Leitung erhält eine grössere Biegsamkeit und an den Anschlussstellen lässt sich der Leiter besser blank legen. Sitzt der Gummi zu fest, so wird von ungeschickten Monteuren an diesen Stellen der Leiter stets beschädigt.

158. Die Isolierung durch Gummiband.

Das Gummiband wird in Spiralen um den Leiter gelegt, derart, dass eine feste Überlappung gegeben ist. Dieselbe soll nach den Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker mindestens 2 mm betragen.

Beim Umwickeln muss dem Band eine verhältnismässig grosse Spannung gegeben werden, damit sich der Gummi fest um den Leiter legt, indessen



Fig. 40.

darf dieselbe nicht so gross sein, dass der Gummi bis an seine Elastizitätsgrenze angespannt wird. Das Band zieht sich nach der Umwicklung zusammen und bildet dann statt einer geschlossenen Gummischicht eine offene Spirale.

Für die Gummibandisolierung soll nur reines unverfälschtes Paragummiband Verwendung finden, dessen Gewichte für je 100 m betragen sollen:

bei 1 mm² 130 g	bei 25 mm² 750 g
„ 1,5 „ [illegible]	„ 35 „ [illegible]
„ 2,5 „ [illegible]	„ 50 „ [illegible]
„ 4 „ [illegible]	„ 70 „ [illegible]
[illegible]	„ 100 „ [illegible]
[illegible]	„ 125 „ [illegible]

Die Isolierung durch wasserdichte Gummiumhüllung.

Zwei Methoden finden Verwendung, die Umpressung in der Longitudinal-Kautschuk-Bedeckmaschine, die von SIEMENS BROS., London, angegeben wurde, und die Umpressung in der Schlauchmaschine, einer der Guttaperchapresse ähnlichen Maschine.[1])

159. Longitudinal-Kautschuk-Bedeckmaschine.

Die Eigenschaft des reinen Kautschuk, nach dem Schmelzen und Erstarren eine weiche Masse zu bilden, machte seine Verwendung in der gleichen Weise wie Guttapercha unmöglich. Er muss daher in seiner natürlichen Form auf den Leiter gebracht werden. Dies wird ermöglicht durch die Eigenschaft des Kautschuk, dass zwei seiner Flächen zusammenkleben, wenn sie unter Druck gebracht werden, und zwar ist die Verbindung so innig, dass ihre Festigkeit der des ganzen Materials wenig nachsteht.

Diese Eigenschaft wird in der Kautschuk-Bedeckmaschine ausgenützt (Fig. 41).



Fig. 41.

Die Isolierung geschieht in der Weise, dass über und unter dem zu isolierenden Drahte je ein Kautschukband der Länge nach durch eine Vorrichtung getrieben wird, welche die Bänder durch zwei Rollen an den Draht presst, und die überstehenden Ränder vermittels zweier Kreismesser abschneidet. Die frischen Schnittflächen kleben dann fest zusammen und der Draht ist in eine homogene Röhre eingeschlossen. Die Stelle des Zusammenschlusses ist in Form einer Längsnaht stets erkennbar. Je nach dem geforderten Isolationswiderstand wird der Draht mit zwei und auch drei Lagen Gummi versehen. In solchen Fällen wird für die innere Schicht Naturgummi, also reiner Gummi ohne jede Beimischung verwendet. Die innere Schicht wird ca. 0·25 mm, jede weitere 0·5 mm stark aufgelegt.

160. Die Umpressung in der Schlauchmaschine.

Wie vorher erwähnt, lässt sich Kautschuk nicht in gleicher Weise wie Guttapercha verarbeiten.

Soll daher um einen Draht in ähnlicher Weise eine Isolierung unter Verwendung von Gummi gepresst werden, so müssen plastische Gummimischungen Verwendung finden. Solche Mischungen sind aber nur dann plastisch, wenn ihr Gummigehalt verhältnismässig gering ist.

Derart „gespritzte“ Drähte, äusserlich daran erkennbar, dass sie nahtlos sind, sind also von geringerer Güte als die mit der Kautschuk-Bedeckmaschine hergestellten. Sie erfüllen indessen als Installationsdrähte sehr wohl ihren Zweck vermöge ihrer Neigung wenig Wasser aufzunehmen.

1) Eine Gummiumpressvorrichtung für Kabel ist auch nach E. P. 1157 (1901) patentiert.

Bei dieser Umpressung ist ein Haupterfordernis, dass der zu isolierende Draht gerade ist, damit die Gummischicht an allen Seiten gleichmässig stark ist. Bei ungeschickter Handhabung der Maschine (Fig. 42) kann es leicht vorkommen, dass der Leiter stark exzentrisch gelagert ist. Hauptsächlich hierüber geäusserte Bedenken bedingten ein gewisses Misstrauen gegen diese Isolierungsart.

161. Verfahren nach Hooper.[1]

Der Leiter wird mit mehreren Schichten von reinem Gummiband umwickelt, die in entgegengesetzter Richtung aufgewickelt werden. Hierauf folgen eine oder mehrere Trennschichten aus Band, welche aus 75 % Kautschuk und 25 % Zinkoxyd bestehen. Das Ganze wird in der Longitudinalmaschine mit zwei Bändern umpresst, welche aus 84 % Kautschuk, 6 % Schwefel und 10 % Schwefelblei bestehen. Die so isolierte Leitung wird auf Trommeln

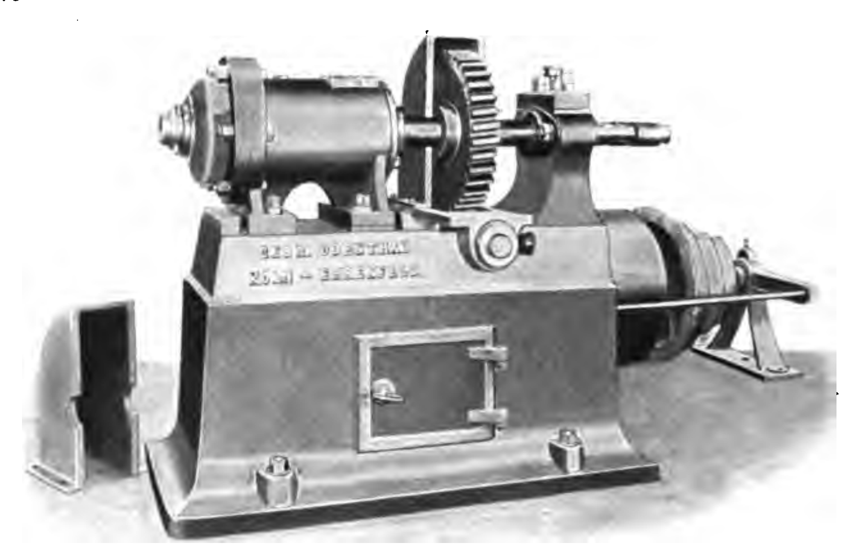


Fig. 42.

gewickelt, die einzelnen Leitungen durch Kreide oder Talkum gegen Zusammenkleben geschützt und nunmehr das Ganze der Einwirkung trocknen Dampfes von 120° C. ausgesetzt. Hierdurch backen die verschiedenen Kautschukschichten zu einer vollständig homogenen Masse zusammen.

Die Güte dieser Leitungen ist vorzüglich, indessen ist sie, wie die grosse Anzahl von Gummischichten und auch die Zusammensetzung der Gummimischungen ergeben, sehr teuer.

Die Fabrikation umsponnener und umklöppelter Leitungen.

162. Fabrikation der Kupferseile.

Der Verbrauch der Elektrotechnik an Installationsdrähten ist ein ganz enormer, so dass weite Räume der Kabelwerke diesem Fabrikationszweige dienen.

Um aber schnell und dabei doch gut und sorgfältig isolierende Drähte liefern zu können, war es erforderlich, sich vom Arbeiter soviel wie möglich

---

1) WIETZ, Die isolierten Leitungsdrähte, S. 54.

unabhängig zu machen und die Arbeit Maschinen zu übertragen, die sie selbstthätig erledigen.

Hier wie dort werden die Kupferleiter verseilt, die dazu verwendeten Maschinen unterscheiden sich nur durch ihre Grösse und ihre Anordnung

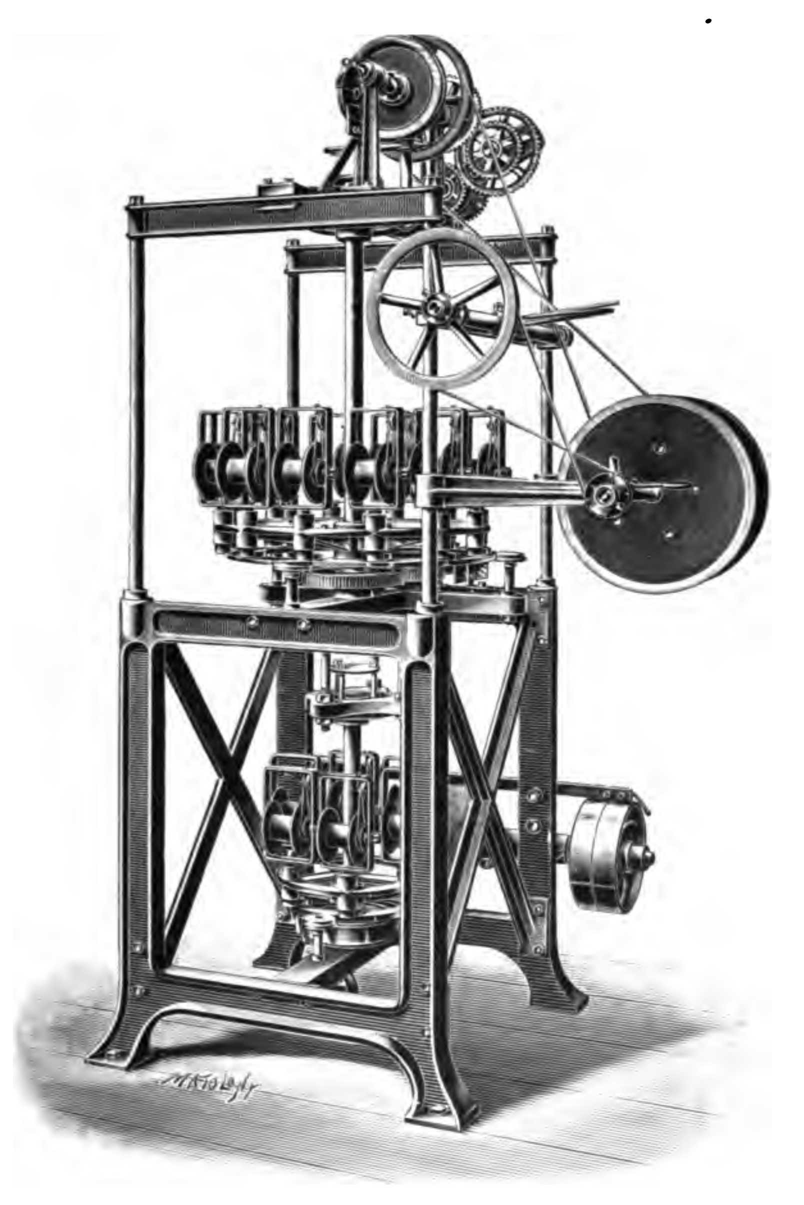


Fig. 43.

von den früher beschriebenen Verseilmaschinen, soweit es sich um niedrige Querschnitte handelt.

Fig. 43 veranschaulicht eine 6 + 12 Spulen-Verseilmaschine der Brüder Demuth, Wien, mit zwei übereinander gelagerten Drehsystemen, welche in entgegengesetzter Richtung rotieren. Die Maschine ist zur Anfertigung von

Leitungen eingerichtet, die bis zu 19 Drähte von Drahtstärken bis zu 1 mm in sich vereinigen, da unten 7 und oben 12 Drahtspulen laufen. Das Abzugsrad und die Wechselräder sitzen im höchsten Punkte der Maschine. Die Wickeltrommel ist unten angeordnet und wickelt das Seil automatisch auf.

163. Die Isolierung. Es finden hier die gleichen Isoliermaterialien wie für Kabel Verwendung, insbesondere aber Gummi (sehr selten Guttapercha), Baumwolle, Seide und Glanzgarn.

Durch die Kombination dieser Isolierstoffe in Verbindung mit Imprägnierflüssigkeiten entstehen die mannigfaltigsten Erzeugnisse.

164. Das Prinzip der Umspinnung. In eng anliegenden Gängen wird ein Faden um den Leiter geführt, der auf diese Art mit einer schmiegsamen, an jeder Stelle, auch bei Biegungen deckenden Hülle umgeben wird (Fig. 44).

Genau wie bei der Verseilmaschine läuft der Leiter durch die hohle Welle einer Scheibe S (der Spinner), indem er von einer Trommel A abgewickelt und auf eine andere, T, welche zum Antrieb des Leiters dient, aufgewickelt wird. Auf der Scheibe ist eine Spule L befestigt, welche das

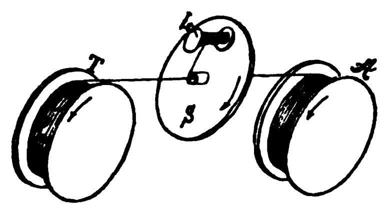


Fig. 44.

zur Umspinnung verwendete Isoliermaterial trägt. Um diesem die nötige Spannung zu geben, wird an der Scheibe eine Bremse angebracht. In einfachster Weise geschieht dies durch eine übergelegte Schnur, die mit einem Gewicht belastet wird. Das Isoliermaterial darf jedoch nicht so straff angespannt werden, dass es seine Elastizität verliert, da es sonst leicht brüchig wird.

165. Umspinnmaschinen. Die Umspinnmaschinen vereinigen in sich eine grössere Anzahl von Gängen, die automatisch arbeiten.

Fig. 45 stellt eine Drahtumspinnmaschine von G. Stein, Berlin, dar, welche zur doppelten Umspinnung von Drähten von 0·3 bis 1 mm mit Baumwolle, Seide oder dergleichen dient. Die Konstruktion der Maschine ist horizontal, mit Wandbrett für den Ablauf der Drahtspulen. Die wiedergegebene Maschine hat 24 Gang, von denen je 12 Gang für sich abstellbar sind. Zum Antrieb der Läufer kann entweder eine durchgehende Trommel Verwendung finden, oder es kann jeder Gang für sich von einer Scheibe angetrieben werden. Die Antriebswelle kann mit 250 Umdrehungen pro Minute laufen.

Die Maschine ist mit der Firma Stein geschütztem Zweirollenläufer ausgerüstet, bei welchem der Fadenauflauf immer konstant bleibt, gleichviel, ob sich eine fast leere oder gefüllte Spule darauf befindet, da die Spannung des Fadens, wenn einmal richtig eingestellt, sich selbstthätig einreguliert.

Bei 24 Gang hat die Maschine eine Länge von 3·45 m, die Breite beträgt 0·9 m.

Der Umstand, dass immer nur 12 Gang gleichzeitig ausrückbar sind, hat manche Übelstände, da z. B. beim Bruch eines Fadens statt eines Ganges zwölf angehalten werden müssen.

G. STEIN rüstet daher diese Maschinen auch mit Einzelausrückung jeden Ganges aus, so dass weit weniger Zeitverluste entstehen. Hand in Hand hiermit gehen Einrichtungen, welche denjenigen Gang, in welchem eine Spule leer läuft oder der Faden reisst, selbstthätig stillsetzen.

166. Zweirollenläufer mit selbstthätiger Ausrückvorrichtung bei Fadenbruch und Spulenleerlauf. D. R. P.

Die Rollen mit dem Spinnfaden können nach Herausnahme der Achsen in einfachster Weise eingesetzt werden. Die Bremsung erfolgt durch die mit verstellbarer Feder gespannten Klappen *a* und wirkt bei gefüllter Spule (Rolle) stärker, während sich mit dem abnehmenden Rollendurchmesser die Spannung der Feder selbstthätig reguliert, so dass der Faden *f* stets mit gleicher Spannung von den Rollen abläuft. Derselbe läuft, wie Fig. 46 zeigt, über die Öse *b* einer Ausrückfalle, welche oben im Kopfe bei *c* und unten innerhalb des Wirbels *d* bei *e* geführt bei Fehlen des Spinnfadens — wie links an-

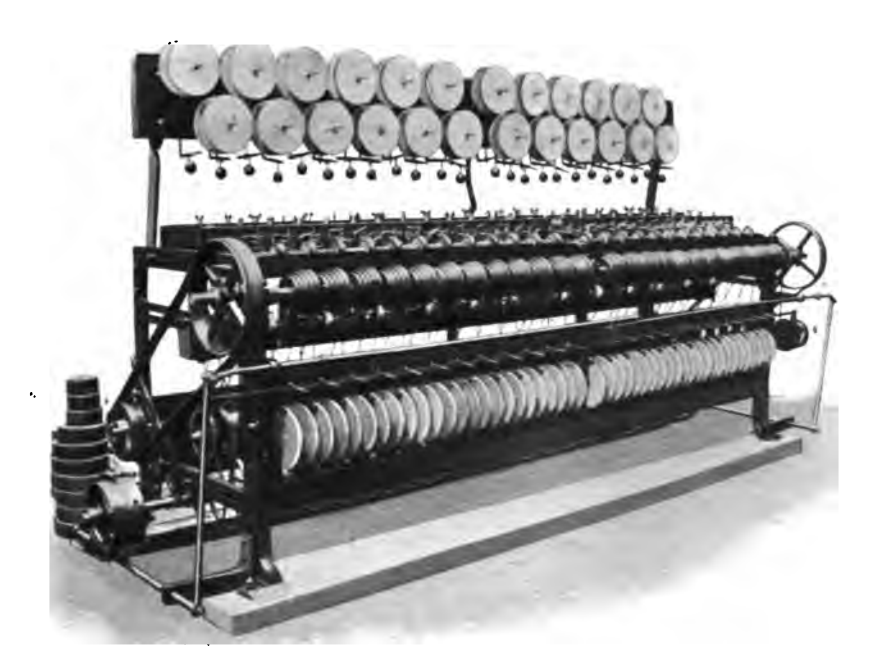


Fig. 45.

gedeutet — nach unten heraustritt und hier infolge Umlaufens des ganzen Spinnläufers die Ausrückvorrichtung der betreffenden Spindel im Falle Fadenbruchs oder Leerlaufs bethätigt. Diese Ausrückung kann in verschiedener Weise zweckentsprechend ausgeführt werden.

Hierauf läuft der Faden über die Querstangen *g* unterhalb einer verstellbaren Glättvorrichtung und dann auf den Draht auf.

Der Abzug jeden Ganges ist ebenfalls einzeln regulierbar, wodurch man auf ein und derselben Maschine sowohl verschiedene Drahtstärken bespinnen, als auch auf jedem einzelnen Gang eine andere Spinnungsart anwenden kann.

167. Art der Umspinnung.

Die Umspinnung mit Jute, Baumwolle, Garn, Hanf oder dergleichen muss so erfolgen, dass der Leiter mit einer dichtschliessenden fortlaufenden Schicht des betreffenden Isolierungsmaterials bedeckt wird, ohne dass dieselbe an einer Stelle stärker als an einer anderen aufgelegt wird. Infolgedessen muss der Transport des Drahtes so bemessen werden, dass er

in einem bestimmten Verhältnis zur Tourenzahl des Spinners steht. Statt einer werden häufig zwei Umspinnungen aufgebracht, die dann in entgegengesetztem Drehsinne aufgebracht werden. Soll der Draht auch bei Biegungen keine blanken Stellen aufweisen, so können mit dem Draht Längsfäden durch die Umspinnmaschine laufen, die mit ihm zusammen umsponnen werden.

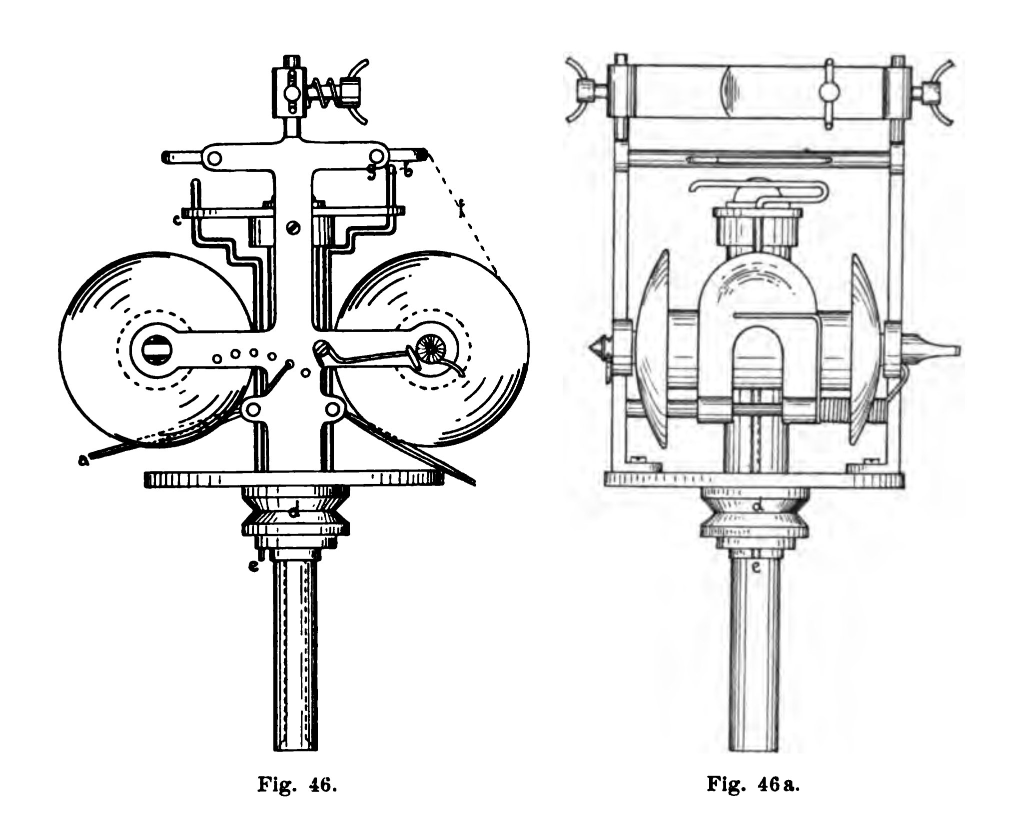


Fig. 46. Fig. 46a.

Ist diese Umspinnung aufgebracht, so haben wir einen sogenannten umsponnenen Draht erhalten, welcher jedoch nach den heutigen Anschauungen für Installationszwecke noch keine Verwendung finden kann.

Die Umklöppelung.

168. Das Prinzip der Umklöppelung. Die Umklöppelung stellt eine besondere Art der Umspinnung dar, bei welcher gleichzeitig mehrere Fäden in entgegengesetzter Richtung um einen Leiter gelegt werden. Sie werden aber so angeordnet, dass immer der eine Faden einmal über, das andere Mal unter den Faden der nächsten Spule gelegt wird. Die Fäden werden also miteinander verflochten.

Um dies zu ermöglichen, muss den Spulen eine ganz andere Anordnung als bei der Umspinnung gegeben werden. Sie stehen nicht fest, sondern laufen in bestimmten Bahnen (Fig. 47), und zwar sind zwei gleiche Wege angeordnet. In dem einen in der Skizze ausgezogenen, läuft die Spule rechts herum, im punktierten links herum. Wo sich die beiden Spulen kreuzen, findet die Verflechtung des Fadens statt.

Der zu umklöppelnde Draht wird durch die zentrale Öffnung *a* geführt. Der Spulenträger dreht sich ausserdem um seine eigene Achse, so dass der Faden glatt ablaufen kann.

Die Umklöppelung bietet einen grösseren Schutz als die Umspinnung, da sie fester ist als jene und die einzelnen Fäden nicht zum Aufgehen neigen.

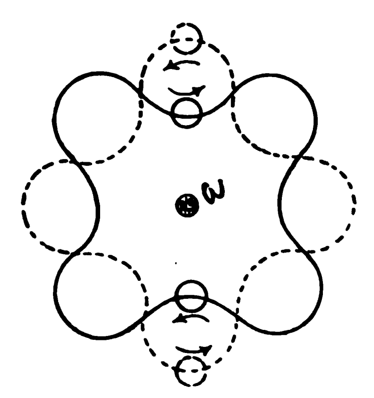


Fig. 47.

Sie findet daher häufig, eigentlich meistens, als oberste Schutzhülle Verwendung.

Bei Anwendung einer geeigneten Imprägnierung dient die Umklöppelung auch hauptsächlich zur Erhöhung der Feuersicherheit, da ein Weiterbrennen derartiger Isolierung bei eingetretenen Kurzschlüssen vermieden wird.

Als Material finden ausser dem feinen, auch bei der Umspinnung üblichen Faden, der übrigens stets aus mehreren Fäden zusammengesetzt wird, Schnüre aus Hanf und Glanzgarn, aber als Schutzhülle auch dünne Drähte aus schwer rostenden Metallen Verwendung.

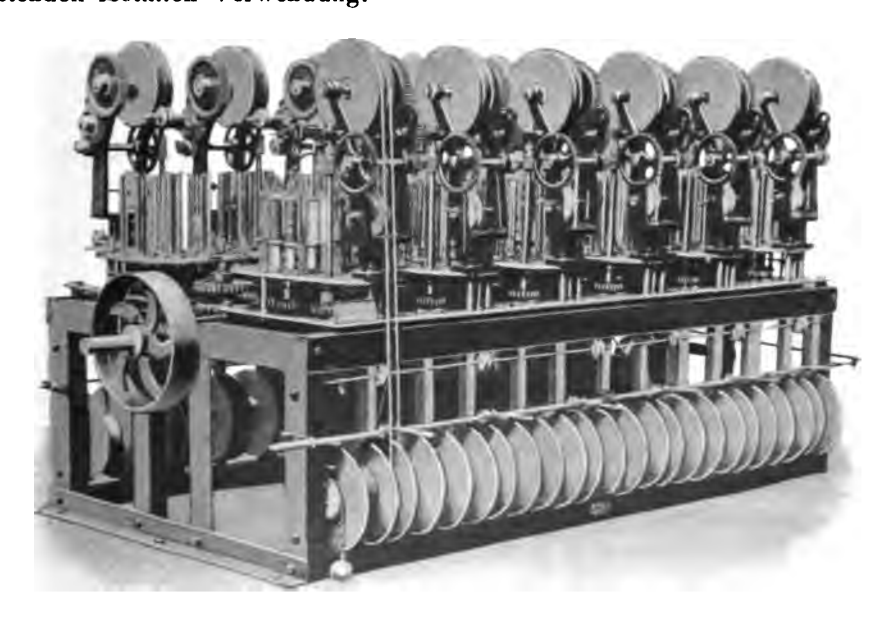


Fig. 48.

Nach dem D. R. P. 139 513 werden biegsame Leitungen dadurch isoliert, dass der Leiter mit mehreren übereinander liegenden konzentrischen Schichten von Kautschukfäden umklöppelt wird, um welche eine geschlossene Bandumwicklung gelegt wird.

169. Flechtmaschinen.

Eine zur Umklöppelung von Drähten dienende Flechtmaschine der Firma G. Stein zeigt Fig. 48, bei welcher 12 Klöppel auf einem Tisch angeordnet sind. Die Maschinen haben selbstthätige Ausrückvorrichtungen bei Fadenbruch und Leerlauf der Spulen sowie mechanische Abzugsvorrichtungen durch Schneckengetriebe.

170. Kreuzwickel für Umspinn- und Flechtmaschinen.

Sehr bequem ist die Anwendung von Kreuzwickeln, d. h. solchen, bei welchen Faden bei Faden in einer gewissen Anzahl Kreuze gewickelt ist



Fig. 49.



Fig. 50.

(Fig. 49), da dieselben von den Fabrikanten für Isoliermaterialien fertig bezogen werden können.

Im übrigen können dieselben auch für die früher erwähnten Plattiermaschinen Verwendung finden.

Durch ihre Anwendung wird erreicht, dass besondere Spulen entbehrlich werden und es kann daher der ganze Vorrat an Isoliermaterialien in Kreuzwickel verarbeitet werden.

Zur Herstellung derselben dienen Kreuzwickelmaschinen (Fig. 50). Bei diesen Maschinen bleibt die Wicklung des Spulchens in der Gitterung des Musters stets konstant, weil Zahnräder zum Betriebe der Spindeln verwendet werden. Beim Antrieb mit Riemen entstehen wegen der unvermeidlichen Riemengleitung Fehler im Muster.

Zur Bedienung dieser Maschine kann jede ungeübte Person verwendet werden, da bei Lieferung der Maschine eine genaue Tabelle der für jede

Fadenstärke zu verwendenden Zahnräder beigegeben wird. Die Maschine ist mit Zählwerk ausgerüstet, von welchem die aufgespulte Meterzahl jederzeit abgelesen werden kann. Die Fertigstellung eines 50 m-Kreuzwickels erfordert drei Minuten, die eines 300 m-Kreuzwickels sechs Minuten. Auf der Maschine lassen sich Wickel von 35—65 mm Länge in jeder Stärke bis zu 45 mm anfertigen.

Die Spindeln laufen mit 750 Umdrehungen pro Minute, bei kleinen Wickeln 900.

G. Stein führt diese Maschinen in folgenden Typen aus:

Länge der Maschine	900 mm,	1100 mm,	1500 mm,	Breite 700 mm.
für	6	8	12	Spindeln.

Das Verseilen von fertigen Leitern.

171. Mehrfachleitungen.

Durch Verseilen mehrerer fertiger Leitungen werden Mehrfachleitungen hergestellt, die insbesondere bei der Inneninstallation sehr viel verwendet

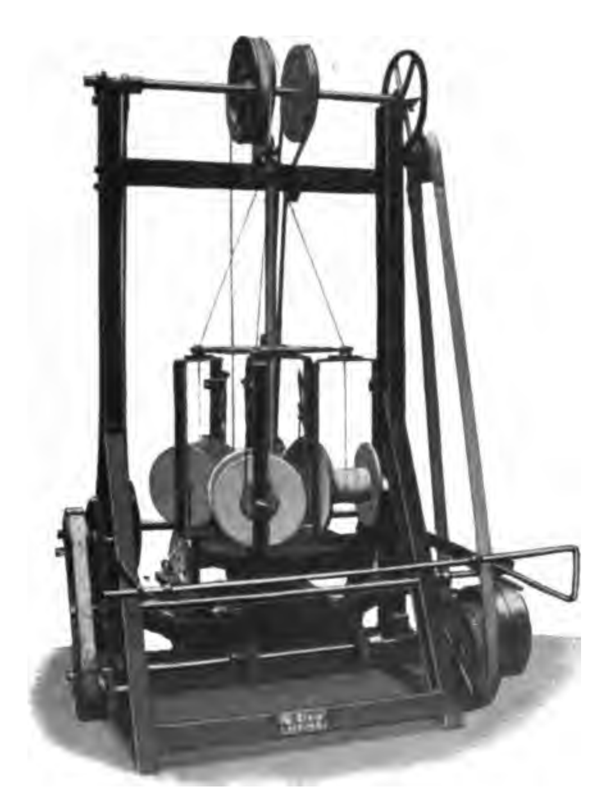


Fig. 51.

werden. In erster Linie sind hier die mit Glanzgarn oder Seide umklöppelten Schnüre, deren Seele aus ganz feinen Kupferdrähtchen besteht, zu erwähnen.

Die beiden Adern, welche mit Baumwolle umsponnen, mit einer Gummischicht isoliert und abermals umsponnen sind, werden sodann entweder jede für sich umklöppelt und dann zusammengedreht, oder erst zusammen-

gedreht und dann gemeinschaftlich umklöppelt, oder auch parallel zu einander gemeinschaftlich umklöppelt. Schnüre, die gleichzeitig einen Beleuchtungskörper tragen müssen, erhalten noch eine gleichartig umklöppelte Hanfschnur oder ein dünnes Stahldrahtseilchen neben den Kupferleitungen.

172. Schnurmaschine.

Zur Herstellung dieser Schnüre dienen besondere Schnurmaschinen (Fig. 51). Dieselben haben Einrichtungen, um der Schnur jede beliebige Drehung sowie Härte oder Weichheit geben zu können. Die einzelnen Spulenrahmen werden durch eine Räderübersetzung angetrieben, so dass man gleichzeitig beim Zusammendrehen der Schnur auch der einzelnen Litze mehr oder weniger Drehung geben kann. Die Maschine eignet sich daher zum Verseilen von Glühlampenschnüren, sowie überhaupt beweglichen Seilen (zwei- bis vierfach) ganz besonders. Der Abzug wird durch Auswechseln von Riemenscheiben reguliert. Das Gestell für die grosse Spule zur Aufnahme der fer-







Fig. 52. Fig. 52a.

tigen Schnur ist hinter der Maschine angebaut und mit mechanischer Verlegung versehen.

Das Auswechseln der Spule geschieht durch Herausnehmen zweier Stifte, Entfernen der vollen, Einlegen einer leeren Spule und Vorstecken der beiden Stifte.

Die Maschine arbeitet mit einer Schnelligkeit von 150 Umdrehungen pro Minute und erhält eine Länge von ca. 1·800 m × 1·500 m Breite × 1·800 m Höhe.

Die Spule hat einen Durchmesser von 320 mm bei einer lichten Weite von 120 mm. Die Bedienung dieser Maschine ist eine sehr einfache und können ca. 4—6 Maschinen dieser Art von einem Arbeiter versehen werden.

173. Messapparate.

Da die Länge von Leitungen während der Fabrikation oder nachdem dieselben aufgerollt sind, ohne Hilfsmittel nicht festgestellt werden kann, verwendet man geeignete Messapparate, welche u. a. die Firma G. Stein, Berlin O, herstellt.

In Fig. 52 ist ein Apparat zum Längenmessen von feinen Schnüren und Drähten bis 2 mm Durchmesser dargestellt. Die Messscheibe hat einen

Umfang von 1 m und setzt bei ihrer Umdrehung ein Zählwerk in Thätigkeit, durch welches die genaue Meterzahl festgestellt wird.

Fig. 52 a stellt einen Messapparat für Drähte und Kabel in allen Stärken dar. Die Messscheibe hat ebenfalls einen Umfang von 1 m und ist aus Eisen hergestellt. Für stärkere Kabel und Drähte ist über der Messscheibe ein zweiarmiger Hebel mit einer Rolle angeordnet, welche durch ein Gewicht auf die Leitung festgepresst wird und die Messscheibe in Umdrehung versetzt. Ein hiermit in Verbindung tretendes Zählwerk giebt die Länge bis zu



Fig. 52 b.

10000 fortlaufenden Metern an. Für dünnere Leitungen dient ausserdem die obere Leitrolle, indem der Draht einmal um die Messscheibe herum und über die Leitrolle hinweg geführt wird.

Einen noch einfacheren Messapparat zeigt Fig. 52 b, welcher bei straff gespannten Seilen etc. verwendet wird. Der Apparat besteht aus einem an einem Bock drehbar gelagerten zweiarmigen Hebel, an dessen einem Ende die Metermessscheibe mit dem Zählwerk angeordnet ist, während das andere Ende ein Gewicht trägt. Man bringt nun die Messscheibe unter das gespannte Seil und vergrössert den Widerstand durch das Gewicht. Die Messscheibe wird dann durch das laufende Seil gedreht und hierdurch das Zählwerk bethätigt.

Die Messungen am Kabel während und nach der Fabrikation.

174. Art der Messungen. Sowohl während der Fabrikation als auch nach der Fertigstellung der Kabel müssen an ihnen Messungen vorgenommen werden, um festzustellen, dass sich während der Fabrikation keine Fehlerstellen gebildet haben, dass die Leitfähigkeit durch die verschiedenen Beanspruchungen des Materials während der Fabrikation nicht gelitten hat, dass die Isolierung und die Bleimäntel intakt sind, d. h. dass der Isolationswiderstand des Kabels ein ausreichend hoher ist. Da die Kabel auch während des Transportes und ihrer späteren Verlegung mancherlei Beschädigungen ausgesetzt sind, so müssen die Messungen wiederholt werden, wenn die Kabel an ihrem Verlegungsort verlegt sind.

Die Messungen, welche erforderlich sind, beziehen sich auf:

1. die Leitungsfähigkeit und den Widerstand des Leiters,
2. den Isolationswiderstand,
3. die Ladungskapazität,
4. die Widerstandsfähigkeit der Isolierung gegen Spannung.

Leitungsfähigkeit und Widerstand.[1])

175. Spezifischer Widerstand. Leitungsfähigkeit und Widerstand müssen festgestellt werden, um, wie bereits gesagt, die Sicherheit zu haben, dass der Leiter während der Fabrikation und der Montage nicht gelitten hat.

Es ist bekanntlich

$$r = c \frac{l}{q} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (22)$$

Der reziproke Wert von c stellt die spezifische Leitfähigkeit dar:

$$\gamma = \frac{1}{c}.$$

Zum Vergleich wird die Leitfähigkeit des Quecksilbers bei 0^0 C. benutzt, wobei dieselbe gleich 1 gesetzt wird; wird dann angegeben, dass ein Metall eine Leitfähigkeit von 57 besitzt, so ist damit gesagt, dass dieses 57 mal so gut leitet, wie Quecksilber bei der gleichen Temperatur und den gleichen Abmessungen.

---

1) Die ausführliche Behandlung der Leitfähigkeit ist im Hdb. I, 2 S. 229 f. zu finden; die Messmethoden etc. dagegen in Bd. II.

176. Einfluss der Temperatur.

Die bei den Widerstandsmessungen gefundenen Werte werden auf eine bestimmte Temperatur reduziert, und zwar meistens auf 15° C., eventuell auch auf 0° oder 20°. Man benutzt hierzu die bekannte Formel:

$$w_t = w_0 \,(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad \ldots\ldots \quad (23)$$

Die Werte von α betragen für Quecksilber . . . . 0·0009078 [1])
„ „ „ α „ „ Kupfer (rein) . . . . 0·00445
„ „ „ α „ „ Kupfer (käuflich) . . 0·003718
„ „ „ α „ „ Eisen . . . . . . 0·0048
„ „ „ α „ „ Aluminium . . . . . 0·00388

Um eine schnelle Reduktion des Kupferwiderstandes auf 15° C. zu ermöglichen, sind in den folgenden Tabellen die Werte dieser Formel so ausgerechnet, dass es nur erforderlich ist, den bei t^0 C. gemessenen Widerstand mit dem in der Tabelle No. 43 angegebenen Wert c zu multiplizieren; es ist gesetzt

$$w_{15} = w_t \,[1 - 0{\cdot}003718 \,(t - 15) + 0{\cdot}00000882 \,(t - 15^0)^2]$$

Tabelle No. 43.

Reduktion des Kupferwiderstandes auf 15° C.

t	c	log c	t	c	log c
25·0	0·9637	9·98394	12·0	1·0112	0·00485
24·5	0·9655	9·98474	11·5	1·0131	0·00566
24·0	0·9673	9·98554	11·0	1·0150	0·00647
23·5	0·9690	9·98634	10·5	1·0169	0·00728
23·0	0·9708	9·98714	10·0	1·0188	0·00809
22·5	0·9726	9·98794	9·5	1·0207	0·00890
22·0	0·9744	9·98874	9·0	1·0226	0·00972
21·5	0·9762	9·98954	8·5	1·0245	0·01053
21·0	0·9780	9·99034	8·0	1·0265	0·01134
20·5	0·9798	9·99115	7·5	1·0284	0·01215
20·0	0·9816	9·99195	7·0	1·0303	0·01297
19·5	0·9834	9·99275	6·5	1·0322	0·01378
19·0	0·9853	9·99355	6·0	1·0342	0·01459
18·5	0·9871	9·99436	5·5	1·0361	0·01541
18·0	0·9889	9·99516	5·0	1·0381	0·01622
17·5	0·9908	9·99597	4·5	1·0400	0·01704
17·0	0·9926	9·99677	4·0	1·0420	0·01785
16·5	0·9944	9·99758	3·5	1·0439	0·01867
16·0	0·9963	9·99839	3·0	1·0459	0·01948
15·5	0·9981	9·99919	2·5	1·0479	0·02030
15·0	1·0000	0·00000	2·0	1·0498	0·02112
14·5	1·0019	0·00081	1·5	1·0518	0·02193
14·0	1·0037	0·00162	1·0	1·0538	0·02275
13·5	1·0056	0·00242	0·5	1·0558	0·02357
13·0	1·0075	0·00323	0·0	1·0578	0·02438
12·5	1·0094	0·00404			

In der Praxis kann das dritte Glied in der Klammer von Formel 23 meistens vernachlässigt werden, wenn es sich nicht um allzu grosse Temperaturdifferenzen handelt, die Materialkonstante α wird für Kupfer mit dem abgerundeten Werte 0·004 ebenfalls für die meisten Fälle genügend genaue Werte ergeben.

1) Uppenborn, Kalender für Elektrotechnik 1902, S. 45/46.

177. Apparate zur Messung der Widerstände. Da man das Kupfer zunächst vor der Verarbeitung, also in ausgespanntem Zustande misst, so wird man es meist mit sehr geringen Längen und infolgedessen auch mit geringen Widerständen zu thun haben; es müssen deshalb Messmethoden angewendet werden, bei denen die Übergangswiderstände eliminiert werden, da diese sonst die Genauigkeit der Messung wesentlich beeinträchtigen würden. Dies ist bei der Messung mit der bekannten THOMSONschen Messbrücke der Fall, die von HARTMANN & BRAUN und SIEMENS & HALSKE gebaut wird.

In der Regel werden die Kupferdrähte in besondere Apparate eingespannt, in denen von vornherein eine genau bekannte Länge, meistens 1 m, fixiert wird.

Die Messungen erfolgen in bekannter Weise.

178. Bestimmung der Leitfähigkeit. Um nun die Leitfähigkeit des gemessenen Leiters zu bestimmen, ist es erforderlich, den gemessenen Wert auf 0° C. zu reduzieren und es gilt dann, wie bereits früher gesagt,

$$r_0 = \frac{r_t}{1 + \alpha t}.$$

Da sich der Widerstand aus Querschnitt, Länge und spezifischer Leitfähigkeit bestimmen lässt, nämlich

$$r_0 = \frac{l}{c q},$$

so ergiebt sich

$$r_0 = \frac{l}{c q} = \frac{r_t}{1 + \alpha t}$$

und hieraus

$$c = \frac{l\,(1 + \alpha t)}{r_0\, q} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (24)$$

Da sich der Querschnitt eines Leiters schwer durch direkte Messung bestimmen lässt, weil die Drähte zumeist nicht an allen Stellen den gleichen Querschnitt besitzen, so wird er meistens durch Gewichtsbestimmung ermittelt. Dies gilt hauptsächlich aber von dünneren Querschnitten, da bei diesen Kubikmessungen verhältnismässig ungenau werden.

Es ist bekannterweise das Gewicht

$$G = s\, l\, q,$$

worin s das spezifische Gewicht, l und q Länge in Metern bezw. Querschnitt in Quadratmillimetern bedeuten. Wird der Wert für q, also

$$q = \frac{G}{s\, l}$$

in Formel 24 eingesetzt, so ergiebt sich

$$c = \frac{s\, l^2\,(1 + \alpha t)}{r_0\, G} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (24\text{a})$$

Wenn auch durch die vorstehend beschriebene Messmethode eine grosse Genauigkeit der Messung erreicht wird, so hält sie doch längere Zeit auf und werden daher meistens Apparate verwendet, welche die Leitfähigkeit des Materials direkt angeben. Unter anderen wird ein von SIEMENS & HALSKE konstruierter Apparat (Fig. 53) verwendet, der es gestattet, die Leitfähigkeit schnell und dabei mit der für die Praxis genügenden Genauigkeit zu

bestimmen; er ist in der Hauptsache für Drähte von einem Querschnitt unter 2 mm^2 bestimmt.

Der Apparat ist nach der WHEATSTONE schen Brücke geschaltet, mit einem SIEMENS-Universalgalvanometer ausgerüstet und erhält statt des üblichen Vergleichswiderstandes einen „Normaldraht" aus Kupfer. Die Anordnung ist so getroffen, dass der zu messende Draht zwischen den beiden vorderen in der Figur sichtbaren Klemmen eingeschaltet wird und hierbei über die Rolle *S* geführt wird. Die Entfernung der Rolle *S* von den Klemmen ist so gross gewählt, dass die Länge des eingeschalteten Drahtes genau 1 m beträgt. Zur Messung wird die Taste des Galvanometers geschlossen und der Kontakt *K* so lange gedreht, bis die Nadel des Galvanometers nicht mehr ausschlägt; an der in 300 Teilstriche geteilten Skala wird der Grad abgelesen, über welchem der Nullstrich des Nonius steht. Hierauf schneidet man den gemessenen Draht hart an den Klemmen ab, stellt durch genaue

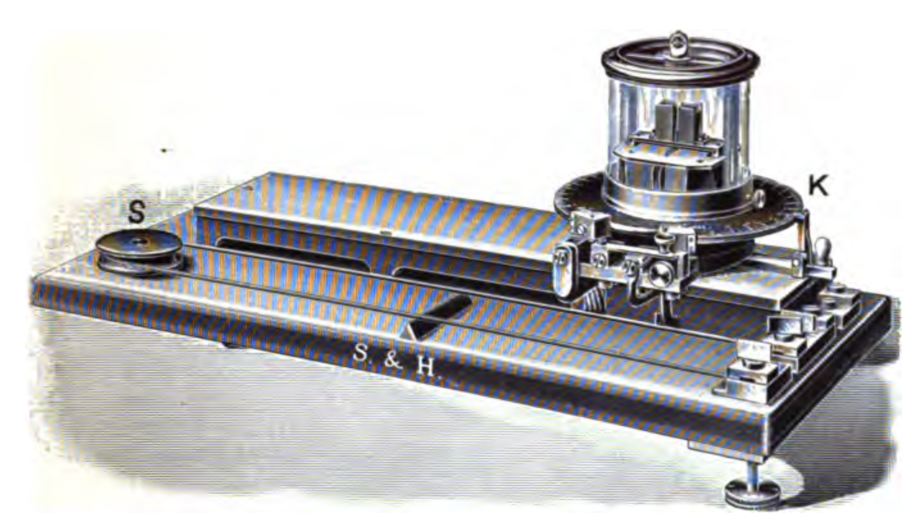


Fig. 53.

Wägung sein Gewicht fest und entnimmt nunmehr aus diesen Werten die Leitfähigkeit einer dem Instrumente beigegebenen Tabelle.

Wenn das Instrument so benutzt wird, dass die abzulesenden Werte zwischen 70 und 230° liegen, wird die grösste Genauigkeit, welche überhaupt möglich ist, etwa 1 %, erreicht. Sind die zu messenden Widerstände zu klein, so dass der Wert unter 70° liegen würde, so nimmt man statt eines Meters zwei oder drei. Will man in diesem Falle die Tabelle benutzen, so hat man das durch Wägung gefundene Gewicht des Drahtes durch das Quadrat der Anzahl Meter des eingeschalteten Drahtes zu dividieren; ist der Widerstand dagegen so gross, dass an der Skala mehr als 230° angezeigt werden, so verringert man den Widerstand, indem man Drähte parallel schaltet. In diesem Falle erfolgt die Berechnung so, als wenn ein Draht eingeschaltet wäre.

Im übrigen ist bei den Messungen mit diesem Instrument die Reduktion des Widerstandes auf 0° C. nicht erforderlich, da der zu messende und der Normaldraht aus gleichem Material bestehen; die Tabelle giebt die Leitfähigkeit bei 0° C. an.

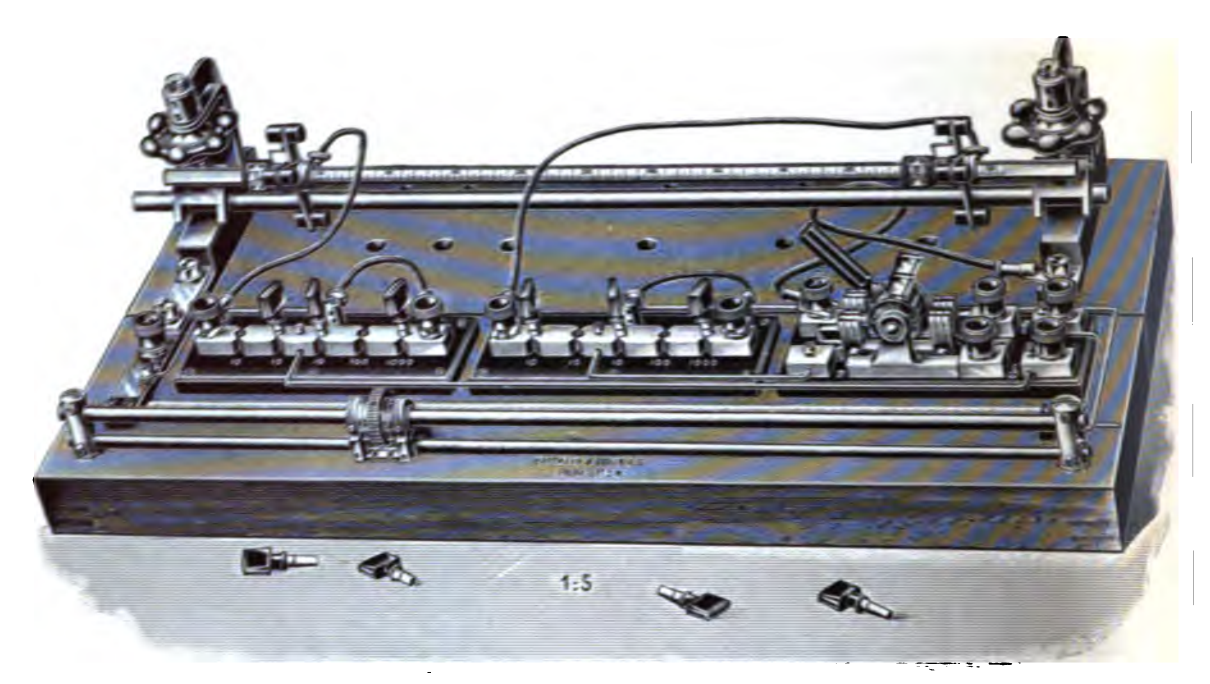


Fig. 54.

Bestehen die Drähte, deren Leitfähigkeit bestimmt werden soll, aus anderem Material als Kupfer, so wird dieselbe rechnerisch bestimmt nach der Formel

$$R_t = \frac{100 + a}{400 - a} r_n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

worin a die Ablesung am Instrument und r_n den Widerstand des Normaldrahtes bezeichnen.

Fig. 54 zeigt die zum gleichen Zweck von HARTMANN & BRAUN, Aktiengesellschaft, hergestellte Messbrücke. Ihr Messbereich liegt zwischen 0·00001 bis 10 Ohm. Das Schaltungsschema ist aus Fig. 54 a ersichtlich. K_1' und

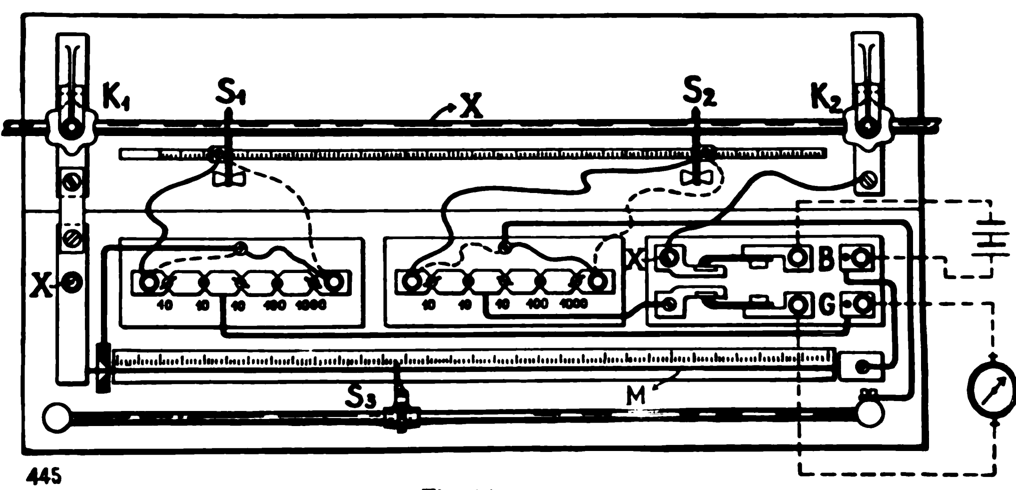


Fig. 54 a.

K_2 sind die Klemmen der Einspannvorrichtung. Die Messung geschieht ebenso wie bei jeder der WHEATSTONE-Brücke, die jedoch derartig modifiziert ist, dass durch eine Doppelbeobachtung die Übergangswiderstände eliminiert werden.

179. Messung grösserer Widerstände.

Für die Messung grösserer Widerstände werden Stöpselbrücken, die nach dem Prinzip der WHEATSTONEschen Brücke geschaltet sind, verwendet, deren Messbereich in den Grenzen von 0·0001 bis 10 000 000 zu liegen pflegt.

Eine derartige von HARTMANN & BRAUN gebaute Präzisionsmessbrücke zeigt Fig. 55.

Diese Brücken erfordern jedoch eine gewisse Aufmerksamkeit dadurch,

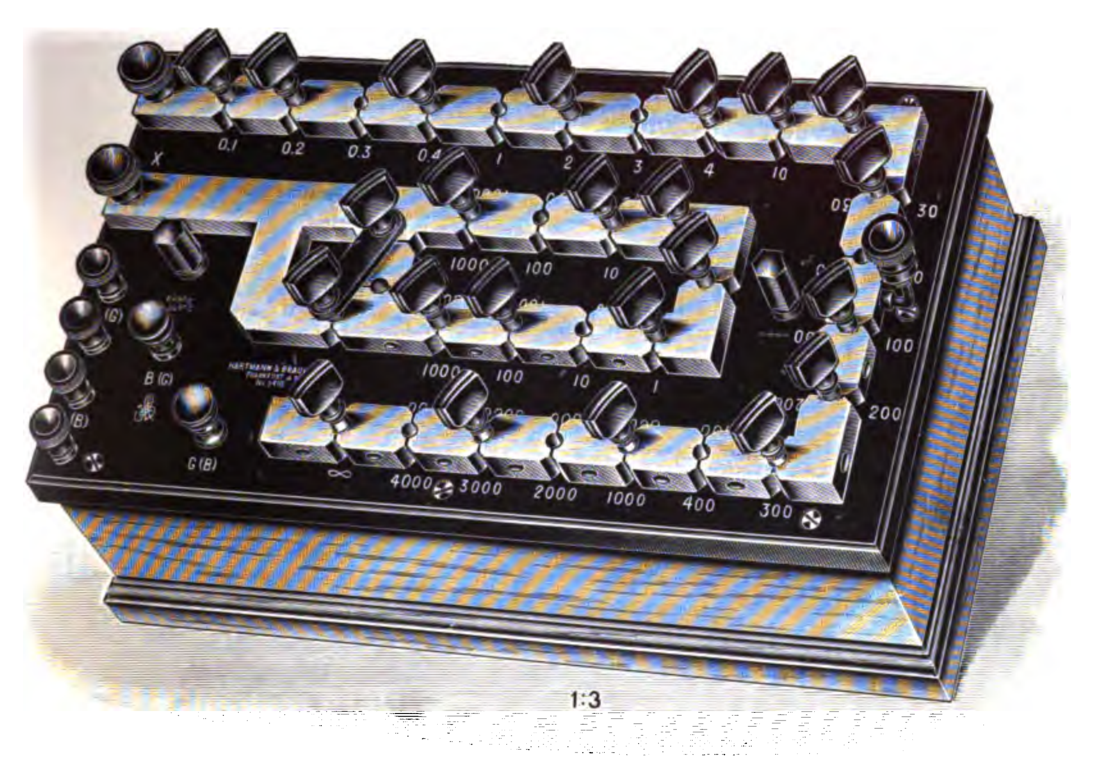


Fig. 55.

dass die Stöpsel stets rein erhalten werden müssen, um Übergangswiderstände auszuschliessen.

Vermieden wird dieser Übelstand bei der Verwendung von Rheostaten, deren Regulierung durch Kurbeln erfolgt, die über Kontakte schleifen. Durch diese Anordnung wird auch eine wesentliche Beschleunigung der Messungen erreicht.

Fig. 56 zeigt diese Anordnung in einem transportablen Apparat zur Messung von Widerständen von HARTMANN & BRAUN.[1])

180. Änderung der Leitfähigkeit während der Fabrikation.

Wenn die Leitungsfähigkeit des Kupfermaterials vor dem Beginn der Fabrikation festgestellt worden ist, so ist noch immer nicht eine zuverlässige Gewähr dafür gegeben, dass die Leitfähigkeit des fertigen Seiles derjenigen entspricht, die nach Feststellung der Leitungsfähigkeit des verwendeten

1) Eine andere Anordnung beschreibt BRUGER in der Physikalischen Zeitschrift 1900, S. 167 und 1903, S. 374—376.

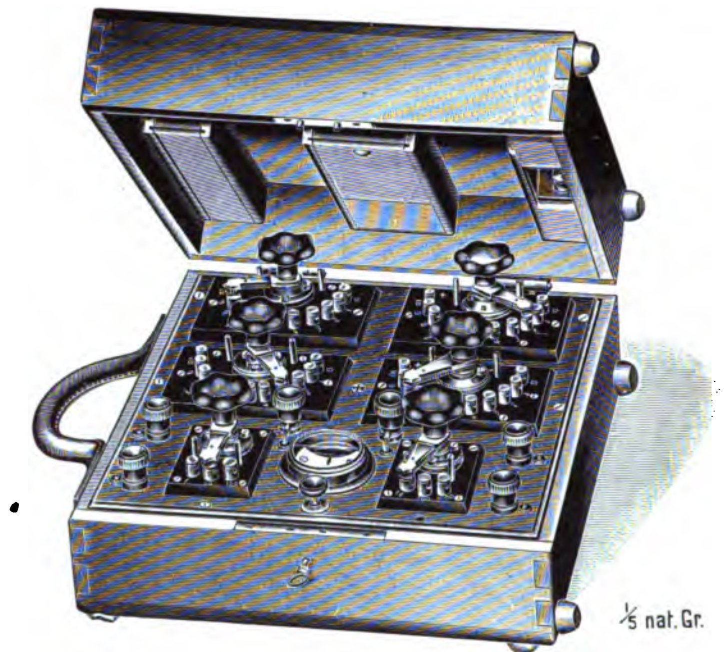


Fig. 56.

Materials erwartet werden sollte. Insbesondere können Änderungen eintreten, wenn mehrere Kupferdrähte zu einer Litze vereinigt werden, da die Dralllänge der Litze infolge der beim Verseilen aufgewendeten Zugkraft eine wesentliche Änderung herbeiführen kann. Einmal kann durch den Drall der Querschnitt vergrössert werden, wodurch der Widerstand geringer wird; dann kann sich aber auch das Material beim Durchlaufen der Kabelmaschine dehnen, wodurch der Querschnitt wieder verkleinert, der Widerstand dementsprechend höher wird. Infolgedessen ist es erforderlich, die Leitfähigkeit des Leiters während der Kabelfabrikation dauernd zu kontrollieren.

Isolation und Isolationsmessung.

181. Ursachen der Isolationsfehler.

Es ist bereits früher erwähnt, dass die Isolation der Kabel gemessen wird, nachdem dieselben 24 Stunden in Wasser gelegen haben. Diese Wasserprobe kann naturgemäss nur von denjenigen Leitungen und Kabeln verlangt werden, die eine vollkommen geschlossene wasserdichte Hülle besitzen, also z. B. Bleikabel, Gummiaderleitungen; Bedingung für ein genaues Resultat der Messung ist gute Isolierung der Kabelenden, sowie der ganzen zur Messung erforderlichen Instrumente, insbesondere sind die freien Enden vor Feuchtigkeit und Unreinigkeiten gut zu schützen.

Die auftretenden Isolationsfehler[1]) haben zumeist ihre Ursache in feinen Hohlräumen, die sich mit Feuchtigkeit und Luft füllen. Infolge der mannigfachen Beanspruchung der Kabel während der Fabrikation, des Transportes und der Verlegung werden die Hohlräume erweitert; die in ihnen enthaltene Feuchtigkeit dehnt sich infolge von Temperaturschwankungen aus und beansprucht die Fasern der Isolierstoffe bis zum Bruch.

---

1) Näheres siehe Hdb. VI, 2.

182. Messung der Isolation mit verschiedenen Batteriepolen.

Will man den Isolationswiderstand einer Leitung feststellen, so legt man unter Zwischenschaltung eines geeigneten Messinstrumentes den einen Pol einer Batterie an die Seele der in Wasser gelegten Leitung, deren anderes Ende gut isoliert ist; der andere Pol wird mit dem Wasser in leitende Verbindung gebracht. Hierbei wird ein bestimmter Ausschlag erreicht. Werden die Pole der Batterie vertauscht, so wird entweder ein gleicher oder ein abweichender Ausschlag des Instrumentes auftreten, der erstere, wenn die Leitung gut isoliert ist. Je grösser die Differenz der beiden Ausschläge, um so geringer der Isolationswiderstand. Bei Anlegung des positiven Poles der Batterie an die Leitung wird ein grösserer Widerstand gefunden werden, als wenn der negative Pol anliegt. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass die elektrolytische Zersetzung des Wassers einen grösseren Widerstand an der Fehlerstelle bedingt. Tritt nämlich der Strom vom Kabel zur Erde, liegt also der positive Pol am Leiter, so bildet sich am Kabel Sauerstoff, liegt der negative an, so bildet sich Wasserstoff. Wasser besteht aber aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff; letzterer wird zum Teil vom Wasser absorbiert, zum Teil geht er eine Verbindung mit dem Kupfer ein, so dass an der Fehlerstelle bedeutend mehr Wasserstoffblasen auftreten werden als solche aus Sauerstoff. Beide bieten dem Isolationsstrom Widerstand, die zahlreicheren Wasserstoffblasen werden aber einen grösseren Widerstand bedingen als die weniger umfangreich auftretenden Sauerstoffbläschen.

Aus diesem Grunde wird bei allen Isolationsmessungen der negative Pol an die Leitung gelegt, um die elektrolytischen Wirkungen an der Fehlerstelle so viel wie möglich abzuschwächen.

Einen Überblick über die absoluten Grössen, wenn teils mit positivem, teils negativem Pol gemessen wird, giebt die folgende Tabelle:[1])

Tabelle No. 44.

Isolationswiderstand bei zwei Spannungen, mit wechselnden Batteriepolen gemessen in Megohm.

	Minuten nach Stromschluss	53 Volt		348 Volt	
		Pos. Pol	Neg. Pol	Pos. Pol	Neg. Pol
Guttaperchaader	1	7 370	7 270	6 900	6 975
	2	8 355	8 280	7 895	7 925
Bleikabel No. I	1	1 990	1 980	1 910	1 910
	2	2 530	2 530	2 420	2 435
Bleikabel No. II	1	13 600	13 800	13 000	13 350
	2	18 700	18 800	17 900	18 200

183. Abhängigkeit der Isolation von den Dimensionen.

Die Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von den Dimensionen zeigt die bekannte Formel

$$R = c \log \frac{D}{d} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (26)$$

1) ETZ 1890, S. 487.

worin c eine Konstante bedeutet, die von der Art des Isoliermateriales abhängig ist; a bezeichnet den Durchmesser des Drahtes (bei Litzen muss der Durchmesser eines Kreises eingesetzt werden vom gleichen Querschnitt der Litze); D bezeichnet den Durchmesser der Leitung über der Isolierschicht gemessen; $\frac{D-a}{2}$ würde somit die Stärke des auf jeder Seite des Drahtes aufgebrachten Isoliermaterials bedeuten.

Die Formel zeigt, dass für die Höhe des Isolationswiderstandes die absoluten Grössen der inneren und äusseren Dimensionen des Isoliermateriales nicht in Frage kommen, vielmehr nur deren Verhältnis zu einander. Infolgedessen werden bei der Anbringung mehrerer Isolierschichten übereinander die innersten Schichten den grösseren Isolationswert aufzuweisen haben; der Isolationswiderstand wächst nicht proportional mit der Anzahl der Isolierschichten. Im übrigen ist der Isolationswiderstand der Länge der Leitung umgekehrt proportional, da ja bei wachsender Länge dem Strom eine immer grösser werdende Möglichkeit zum Entweichen gegeben wird.

184. Abhängigkeit der Isolation von der Dauer der Elektrisierung und der Spannung.

Der Isolationswiderstand ist im hohen Masse von der Dauer der Elektrisierung abhängig.[1] Um einen einheitlichen Massstab zu haben, wird deshalb im allgemeinen gemessen nach einer Elektrisierung von einer Minute. Ferner ändert sich bei verschiedenen Spannungen der Isolationswiderstand; er wächst bei abnehmender, er fällt bei zunehmender Spannung. Beides geht aus den folgenden Tabellen No. 45 und 46 hervor,[1] aus welchen sich Abweichungen bis zu 10 % ergeben.

Tabelle No. 45.

Isolationswiderstand einer Guttaperchaader in Megohm bei verschiedenen Spannungen.

	Minuten nach Stromschluss	Spannung in Volt 52	208	460
1	1	7985	—	7600
	2	9160	—	8670
2	1	7990	—	7620
	2	9060	—	8610
3	1	8070	7880	7210
	2	9140	8930	8145
4	1	7870	7790	7200
	2	8800	—	8210
5	1	8150	—	7590
	2	9370	—	8630
6	1	8370	—	7820
	2	9740	—	8955
7	1	8240	8065	7770
	2	9520	9370	8930
8	1	7190	7020	6810
	2	8260	8045	7710

1) Vgl. ETZ 1890, S. 469, 485. Heim, Über den Einfluss der Spannung auf die Isolation, insbesondere bei Kabeln.

Tabelle No. 46.

Isolationswiderstand in Megohm.

Bezeichnung des Kabels	Spannung Volt	Minuten nach Stromschluss					
		1	2	3	5	10	15
Guttapercha-ader	53	7 500	8 495	9 020	9 530	10 100	10 540
	213	7 200	8 250	8 740	9 370	9 950	10 480
	470	7 050	7 960	8 420	9 015	9 570	10 000
Bleikabel No. I	21	2 290	2 870	3 530	4 495	6 480	8 215
	213	2 185	2 730	3 250	4 280	6 290	7 955
	470	2 180	2 720	3 210	4 190	6 090	7 670
Bleikabel No. II	53	14 750	20 200	24 450	29 800	40 500	47 700
	213	13 500	19 200	23 200	29 200	38 100	43 950

Kapazität und Kapazitätsmessungen.

185. Kabel als Kondensatoren.

Isoliermaterialien mit Metallplatten abwechselnd geschichtet, ergeben einen Kondensator. An eine Stromquelle gelegt, nimmt derselbe so lange Strom auf, bis er das Potential der Stromquelle erreicht hat.

Wird diese entfernt und die Metallplatten des Kondensators miteinander leitend verbunden, so wird die Ladung wieder abgegeben. Elektrizitätsmenge und Potential stehen auf dem Kondensator im bestimmten Verhältnis zu einander, nämlich:

$$\frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}} = \text{Kapazität.}$$

Kabel bilden einen Kondensator von zylindrischer Form, und zwar ist hier die Oberfläche des Kupferleiters die eine Belegung, während die andere durch den Bleimantel oder die Eisenarmatur gebildet wird. Konzentrische Kabel stellen zwei Kondensatoren dar; der eine wird von Innen- und Aussenleiter, der andere durch Aussenleiter und die metallene Armierung gebildet.

Auch Freileitungen sind Kondensatoren, bei denen die Oberfläche der Leiter die eine, die Erde und benachbarte Leiter die andere Belegung der als Dielektrikum dienenden Luft bildet.

Während aber ein Kabel eine ganz beträchtliche Ladungskapazität besitzt, die auch bei geringen Längen in Betracht zu ziehen ist, kommt sie bei Freileitungen nur bei sehr grossen Längen in Frage.[1])

Legen wir ein Kabel an eine Stromquelle, so wird ein bestimmter Ladungsstrom von ihm aufgenommen; wird es entladen, indem man es beispielsweise an Erde legt, so müsste der Entladestrom gleich dem Ladestrom sein, wenn es gelänge, ein vollkommen isolierendes Kabel herzustellen. Da dies aber nicht möglich, so geht ein Teil des Ladestromes durch das Dielektrikum verloren, den man als Isolationsstrom bezeichnet.

186. Einfluss der Dielektrika auf die Kapazität.

Wird am gleichen Kondensator ein Dielektrikum durch ein anderes ersetzt, so ändern sich die Ladungsverhältnisse, während sie beim Ersatz der

1) Vgl. Hdb. VI, 2: Freileitungen.

Belegung durch andere Metalle die gleichen bleiben. Hieraus ist ersichtlich, dass die Kapazität eines Kabels im wesentlichen vom Dielektrikum abhängt und daher dieses in der Kabeltechnik eine grosse Rolle spielt.

Die Dielektrika verhalten sich bei der Ladungsaufnahme und -abgabe sehr verschieden; während das eine imstande ist, die Ladung rasch aufzunehmen und rasch abzugeben, vollziehen sich bei anderen diese Vorgänge äusserst langsam. Aus den später noch erwähnten Versuchen von Hoór geht hervor, dass paraffiniertes Papier etwa 5 Sekunden braucht, um einen stationären Zustand zu erreichen; Glas bedarf dagegen 60 bis 100 Sekunden, Paraffin und Kolophonium als Dielektrikum verwendet, bedingen nur eine Ladezeit von 1 bis 2 Sekunden.[1])

Die zur Ladung und Entladung eines Kabels erforderliche Zeit ist seinem Widerstand und seiner Kapazität direkt proportional. Diese beiden Faktoren sind aber abhängig von der Länge des Kabels, so dass die Ladungsdauer dem Quadrat der Kabellänge unter der Voraussetzung gleichen Querschnittes proportional ist.

187. Die Kapazität der Kabel.

Die Elektrizitätsmenge, welche zur Ladung eines Kabels aufgewendet werden muss, ist von der Kapazität des Kabels abhängig. Diese entspricht der Kapazität eines zylinderförmigen Kondensators und wird bestimmt nach der Formel:

$$C = \frac{l\,k}{4{\cdot}6 \log \frac{D}{d}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

worin l die Länge des Kabels in Centimetern, D den äusseren und d den inneren Durchmesser der Isolierung und k einen Faktor bedeutet, welcher von der materiellen Beschaffenheit der Dielektrika abhängig ist.

Für 1 km Länge und in Mikrofarad geht die Formel über in

$$C = 0{\cdot}0243 \frac{k}{\log \frac{D}{d}}.$$

k wird Dielektrizitätskonstante, spezifische induktive Kapazität oder auch Verteilungskoeffizient genannt.

188. Abhängigkeit der Kapazität von der elektromotorischen Kraft.

Die Ladung eines Kabels ist ferner abhängig von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle; je grösser diese, um so grösser die vom Kabel aufgenommene Ladung. Es gilt daher die Beziehung, wie schon angegeben:

$$Q = E\,C,$$

wenn mit Q die Elektrizitätsmenge und mit E die elektromotorische Kraft bezeichnet wird.

Setzen wir für C den Wert der Formel 27 ein, so erhalten wir die von einem Kabel aufzunehmende Elektrizitätsmenge

$$Q = E \frac{l\,k}{4{\cdot}6 \log \frac{D}{d}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

Aus dieser Formel ist zu entnehmen, dass die Ladung nicht von den absoluten Grössen der Isolierschicht abhängig ist, sondern nur von deren Verhältnis zu einander; die Ladung wird um so geringer, je grösser dieses Verhältnis wird.

---

1) Wiedemann, Annalen 1893, S. 138.

189. Dielektrizitätskonstante.

Ausser den Abmessungen des Kabels ist auch die Kenntnis der Dielektrizitätskonstante erforderlich, um die Kapazität bestimmen zu können. Luft als Dielektrikum wird zum Vergleich mit anderen Dielektrika verwendet und in diesem Falle $k = 1$ gesetzt.

Soll die Dielektrizitätskonstante eines Stoffes bestimmt werden, so wird der Kondensator einmal mit Luft, das andere Mal mit dem zu untersuchenden Dielektrikum gefüllt und dann mit einem anderen nahezu gleichen Kondensator verglichen.

Die Beanspruchung eines Kondensators wird in Volt-Centimeter angegeben. Ein Dielektrikum von der Stärke eines Centimeters, der Spannung von 1000 Volt ausgesetzt, steht unter einer Beanspruchung von $1 \times 1000 = 1000$ Volt-Centimeter. Wäre die Schicht jedoch nur 1 mm stark, so wäre die Beanspruchung $10 \times 1000 = 10\,000$ Volt-Centimeter.

Je grösser die Dielektrizitätskonstante ist, um so grösser wird die Kapazität eines Kabels, und da man bestrebt ist, dieselbe so gering wie möglich zu halten, so ist bei der Auswahl und Anordnung der Isoliermaterialien grosse Sorgfalt geboten. Die Kapazität eines Kabels kann allerdings auch dadurch verringert werden, dass bei gleichem Drahtdurchmesser die übrigen Dimensionen vergrössert werden. Der höheren Kosten wegen kann das jedoch nicht in Frage kommen.

Tabelle No. 47.

Dielektrizitätskonstante.

Luft 760 mm	1·0
Kolophonium	2·6
Ebonit	2—3
Glas (Crownglas)	3
Glas (Flintglas)	6—9
Glimmer	4—8
Guttapercha	4·2
Kautschuk	2
Kautschuk, vulkanisiert	2·7
Olivenöl	3
Paraffin	2—2·3
Petroleum	2—2·2
Porzellan	4·4
Rapsöl	2·3
Ricinusöl	4·7
Rüböl	3
Schellack	2·7—3·7
Siegellack	4·3
Terpentinöl	2·2
Wasser 14°	83·8

Für Telephon- und Telegraphenkabel, deren Ladungskapazität auf ein sehr geringes Mass herabgedrückt werden muss, um Verzögerungen und Beeinträchtigungen in der Klarheit bei der Übertragung der Sprache zu vermeiden, wird Luftisolation vielfach angewendet, da diese, wie aus Tabelle No. 47 hervorgeht, die geringste Dielektrizitätskonstante besitzt.

190. Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von der polarisierenden Kraft.

Dr. von Hoór hat indessen nachgewiesen, dass sich die Dielektrizitätskonstante mehr oder weniger merkbar mit der polarisierenden Kraft ändere. Die diesbezüglichen Versuche wurden mit Vergleichskondensatoren[1]) angestellt, die nach besonderem Verfahren Hoórs aus Pflanzenfaserpapier von 0·045 mm Stärke hergestellt waren. Das Papier wurde unmittelbar vor dem Einbau stark getrocknet, in besonders zu diesem Zweck hergestellten Öfen bis zur Teerbildung erhitzt und hierauf in reines, säurefreies und evakuiertes Petroleum gebracht. Der aus diesen Papierblättern und Stanniol hergestellte Kondensator wurde in einen gusseisernen Kasten montiert, in welchen, nachdem in ihm eine Luftverdünnung erzeugt war, Petroleum eingetrieben wurde. Um die in den Kondensatorschichten zurückgebliebene Luft zu vertreiben, wurde der Kondensator noch längere Zeit der Luftverdünnung ausgesetzt und gleichzeitig unter Spannung eines Wechselstromes gehalten.

Die derart hergestellten Kondensatoren zeigten stets das gleiche Verhalten. Durch die Versuche, von denen ein Resultat[2]) in der nachfolgenden Tabelle auszugsweise wiedergegeben ist, ist bewiesen worden, dass bei Zunahme der Spannung die Dielektrizitätskonstante abnimmt und nicht konstant bleibt. Als Dielektrikum diente Papier von der vorher beschriebenen Beschaffenheit.

Tabelle No. 48.

E das ladende Potential	Q gemessene Elektrizitätsmenge	C Kapazität berechnet	k Dielektrizitätskonstante berechnet
0·472	10·37	22·0	17·7
1·131	24·25	21·45	17·2
2·53	54·7	21·6	17·3
5 13	103·7	20·24	16·3
10 61	170·2	16·04	12·9
20·48	240·0	11·73	9·42
30·9	295·5	9·57	7·69
40·2	340	8·47	6·80
54·35	407	7·49	6·02
101·1	626	6·19	4·97
199·0	1042	5·23	4·20
296·5	1460	4·93	3·96
407·5	1942	4·77	3·83
518·0	2430	4·69	3·77
639	2950	4·62	3·71
725	3305	4·56	3·66
885	3965	4·49	3·61

Während also durch die vorstehend erwähnten Versuche bewiesen wurde, dass die Dielektrizitätskonstante bei verschiedenem Potential auch verschiedene Werte annimmt, zeigen andere von Hoór untersuchte Materialien eine bedeutend grössere Konstanz der Dielektrizitätskonstante, wie aus der folgenden Tabelle No. 49[3]) zu entnehmen ist:

1) ETZ 1901, S. 170.
2) ETZ 1901, S. 189.
3) ETZ 1901, S. 719.

Tabelle No. 49.

Bezeichnung, Dimensionen, Material des Kondensators: Schichtendicke cm	polarisierte Oberfläche qcm	Volumen ccm	Die niedrigste Beanspruchung in Voltcm	Die höchste Beanspruchung in Voltcm	Die niedrigsten beobachteten Werte für Kapazität in Mikrofarad	Die niedrigsten beobachteten Werte für Dielektrizitätskonstante	Die höchsten beobachteten Werte für Kapazität in Mikrofarad	Die höchsten beobachteten Werte für Dielektrizitätskonstante
Paraffin. Temperatur 19·5 – 20° C.								
0·007	129 300	905	0·528	55 500	5·97	3·65	6·01	3·68
Paraffin. Temperatur 20·0—20·5° C.								
0·007	12 930	90·5	2·52	54 400	5·29	3·236	0·55	3·365
Kabel von F. & G.								
0·22	—	9 000	0·91	7 480	0·045	2·75	0·280	17·12
Crownglas. Temperatur 20 – 21° C.								
0·065	1 440	93·6	4·46	22 900	0·021	10·7	0·0251	12·8
Crownglas. Temperatur 20—22° C.								
0·0193	12 600	243	1·037	27 200	0·40	6·92	0·417	7·22
Megohmit.[1] Temperatur 19·5° C.								
0·21	50 600	10 625	0·286	5 950	0·1085	5·09	0·113	5·31
Guttapercha. Temperatur 19·5° C.								
0·01222	106 000	1 295	0·491	41 000	2·42	3·155	2·50	3·26

Im Anschluss hieran seien die Kapazitäten einiger Kabel angegeben:

Tabelle No. 50.

Kapazität konzentrischer Faserkabel.[2])

Querschnitt in mm²	Kapazität zwischen beiden Leitern pro km	Kapazität zwischen äusserem Leiter und Bleimantel pro km
2 × 220	0·415	0·775
2 × 185	0·395	0·724
2 × 120	0·30	0·62
2 × 50	0·28	0·47
2 × 25	0·17	0·40

1) Megohmit der Firma MAIROWSKY & Co. (Köln-Ehrenfeld).
2) FELDMANN, ETZ 1892, S. 95.

Tabelle No. 51.

Kapazität dreifach verseilter Kabel für 5000 Volt.[1]

Querschnitt in mm^2	Kapazität eines Leiters gegen die anderen und gegen den Bleimantel in Mikrofarad
3 × 5	0·10
3 × 10	0·11
3 × 15	0·12
3 × 25	0·13
3 × 50	0·14
3 × 75	0·16

191. Einfluss der Kapazität bei langen Kabellinien.

Bei längeren Kabellinien ist der Einfluss der Kapazität insofern von der grössten Bedeutung, als der zur Ladung erforderliche Strom einen grösseren Wert erreichen kann als der Arbeitsstrom selbst. So beträgt[2]) bei einer 50 km langen und mit 1000 Volt bei 50 Perioden gespeisten Kabelleitung von 3 × 100 mm^2 Querschnitt die Kapazität jedes verseilten Leiters etwa 14·5 Mikrofarad und der erforderliche Ladestrom 25 Amp. Sollen 800 Kilowatt am Ende des Kabels abgegeben werden und beträgt der Leitungsfaktor der angeschlossenen Stromverbraucher 80 %, so würde ein Wattstrom von 50·5 und ein wattloser Strom von 37·7 Amp. erforderlich sein. Letzterer bleibt um eine Viertelperiode hinter der Spannung zurück, der wattlose Ladestrom hingegen eilt ihr um eine Viertelperiode vor. Demzufolge hat der Generator ausser dem Wattstrom von 50·5 die vektorielle Differenz von 37·7 und 25 Amp. zu leisten, die zusammen die vektorielle Summe von 52 Amp. ergeben. Die Stromabnehmer erhalten in diesem Falle 63 Amp. Bei voller Belastung wirkt die Kapazität also günstig, da die Nacheilung des Stromes am Anfang der Leitung kleiner als am Ende ist und der grössere Leitungsfaktor an ihrem Anfang die Verwendung eines kleineren Generators gestattet.

Wird die Belastung hingegen kleiner, so wird mit ihr auch die nacheilende wattlose Stromkomponente kleiner, wohingegen der voreilende Ladestrom konstant bleibt. Die vektorielle Differenz der beiden wattlosen Ströme wird bei $^2/_3$ der Belastung Null, steigt dann wieder an und erreicht bei Leerlauf den vollen Wert des Ladestromes. Es muss also bei geringer Belastung ein grösserer Generator arbeiten, als wenn nur so viel Kapazität vorhanden wäre, als zum Ausgleich der wattlosen Komponente des Arbeitsstromes erforderlich ist.

Eine Verringerung der Kapazität ist nicht möglich, dagegen schlägt Mordey[3]) vor, zu den Leitern des Kabels Drosselspulen parallel zu schalten, die so bemessen sein sollen, dass der von ihnen durchgelassene Strom genau gleich dem Ladestrom sei. Infolgedessen braucht der Generator keinen wattlosen Strom abzugeben und ein kleinerer Generator kann Verwendung finden.

Finden diese Drosselspulen unter den oben erwähnten Verhältnissen Anwendung, so würde der in das Kabel zu liefernde Strom betragen:

1) Canalisations électriques, Charpentier, S. 172.
2) ETZ 1901, S. 147.
3) ETZ 1901, S. 102.

Tabelle No. 52.

Bei Belastung	Mit Drosselspule	Ohne Drosselspule
von 100%	52 Amp.	52 Amp.
„ 40%	20·2 „	22·4 „
„ 20%	10·5 „	20·2 „
„ 10%	5·5 „	21·8 „
„ 0%	0·5 „	25 „

Um einen möglichst vorteilhaften Ausgleich zu erreichen, wäre nicht eine, sondern mehrere Drosselspulen zu verwenden, die je nach Bedarf parallel geschaltet werden. Es wird hierdurch auch möglich, dieselbe auf die Kabelstrecke zu verteilen, so dass nicht nur der Generator, sondern auch das Kabel vom wattlosen Strom entlastet wird. Allerdings müsste in diesem Falle die Einschaltung durch Fernschalter erfolgen.

Die Spannungsprüfung.

192. Höhe der Prüfspannung.

Im Wasserbade werden Gummiadern und Bleikabel einer Spannungsprobe unterzogen, und Gummibandleitungen werden, wenn sie als Mehrfachleitungen Verwendung finden sollen, im trockenen Zustande der Spannung eines Wechselstromes ausgesetzt.

Werden Kabeln mit mehreren Adern gespannt, so wird Ader gegen Ader, und jede Ader gegen den Bleimantel geprüft.

Leitungen, hergestellt nach den Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, müssen die folgenden Spannungen aushalten:

Gummibandleitungen, wenn als Mehrfachleitungen verwendet, trocken 500 Volt Wechselstrom eine halbe Stunde Ader gegen Ader;

Gummiaderleitungen nach 24stündigem Liegen im Wasser 2000 Volt zwischen Kupferseele und Wasser;

Gummiaderleitungen für Hochspannung bei einer	
Betriebsspannung von Volt	Prüfspannung von Volt
1000	2000
2000	4000
3000	6000
4000	8000
5000	9000
6000	10000
7000	12000
8000	13000
10000	15000
12000	18000

einfache Gleichstromkabel für Spannungen bis 700 Volt mit imprägnierter Faserstoffisolierung 1200 Volt Wechselstrom.

Für konzentrische (nur zulässig bis 3000 Volt), bikonzentrische und verseilte Mehrleiterkabel soll bei der Prüfung in der Fabrik die Prüfspannung das Doppelte, nach der Verlegung das 1·25fache der Betriebsspannung betragen.

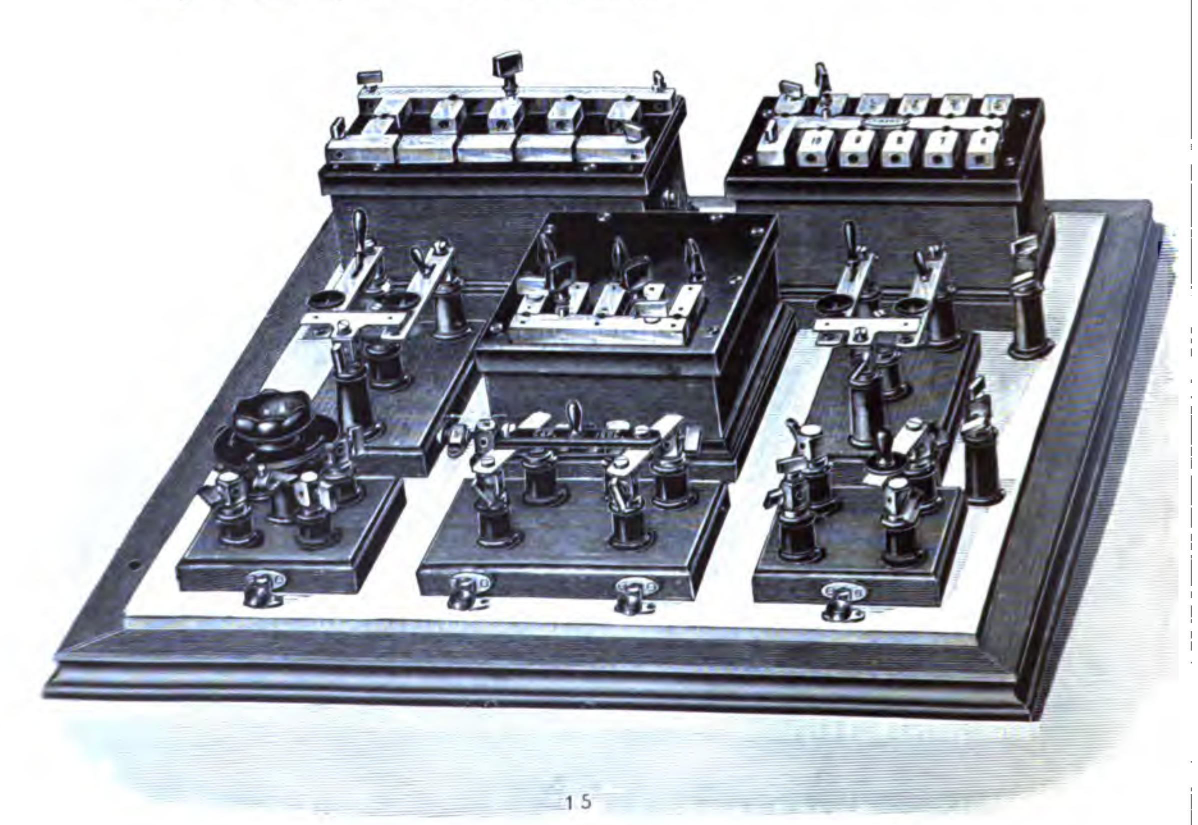
Bei der Prüfung in der Fabrik sollen die Kabel der Prüfspannung eine halbe Stunde, bei der Prüfung nach der Verlegung eine Stunde lang ausgesetzt sein.

Es ist vielfach das Verlangen gestellt worden, die Kabel höheren als den hier erwähnten Prüfspannungen auszusetzen, um sicher zu gehen. Das ist aber insofern bedenklich, als dann bei derartigen Prüfungen das Kabel Schaden leiden kann. Erfahrungsgemäss halten die Kabel bei der Prüfung zwar die Spannung aus, sie erhalten aber einen geringen Defekt, es entsteht ein kleines Kanälchen, das Kabel wird „angestochen". Feuchtigkeit leitet dann intensive Erdschlüsse und Beschädigungen der Kabelnetze ein.

Instrumentarien zu Kabelmessungen.

193. Isolationsmessung.

Isolations- und Kapazitätsschaltung von Hartmann & Braun, A.-G. — Die Isolationsmessung an Kabeln wird nach der Methode des direkten Ausschlages in der Regel unter Verwendung zusammengestellter Instrumentengruppen ausgeführt. Eine solche sei im folgenden beschrieben, wie sie von Hartmann & Braun A.-G. ausgeführt wird. Die Ansicht derselben zeigt Fig. 57 und Fig. 62 u. 63 die Schaltungen.



15

Fig. 57.

Man verwendet für die Messung einen Vergleichswiderstand, mit 2×100 000 Ohm, einen Nebenschlussrheostat mit vier Reduktionswiderständen und Kurzschlussvorrichtung, einen Federkommutator (Fig. 58), zwei Kabelschlüssel (Fig. 59), einen einfachen Umschalter (Fig. 60) und einen doppelpoligen Umschalter (Fig. 61), welche Apparate so gut isoliert und betriebs-



Fig. 58.

fertig geschaltet sein müssen, dass Batterie, Galvanometer und Kabel während der Messungen fest angeschlossen bleiben können.

Zunächst wird man vermittels der Vergleichswiderstände die Konstante des Galvanometers bestimmen und den Ausschlag beobachten, welcher entsteht, wenn an Stelle dieses Widerstandes das auf Isolation zu prüfende

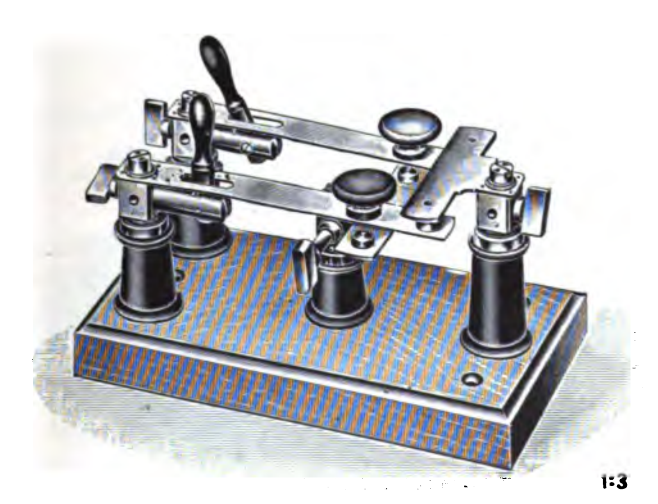


Fig. 59.

Kabel gelegt wird. Der Messstrom wird von einer Batterie von 120 Elementen geliefert und die Messspannung so gewählt, dass sie der für das Kabel in Betracht kommenden Betriebsspannung entspricht. Die gleiche Spannung ist auch zur Bestimmung der Galvanometerkonstanten und zur Kabelmessung zu benutzen, wodurch aber erforderlich wird, die Galvanometerempfindlichkeit im ersteren Falle mittels Nebenschlusses auf $^1/_{10000}$ zu reduzieren. Von dem

Vorgang der ganzen Messung nach dem Schema Fig. 62 und 62a geben Hartmann & Braun folgende Darstellung:

Man verbindet die Batterie mit den entsprechenden rechtsseitigen Klemmen des Instrumentarium (Fig. 57 u. 62), legt die mit E bezeichnete Klemme an Erde und die mit K bezeichnete an das zu messende Kabel, während



Fig. 60.

das Galvanometer, und zwar die Wicklung mit hohem Widerstand (die mit niedrigem Widerstand wird zwecks Dämpfung durch die beigegebene kleine Spule geschlossen), an GG angelegt wird. Der Umschalter U_2 steht auf „Isolation", U_1 zum Zwecke der Konstantenbestimmung zunächst auf „Vergl."; im Nebenschluss ist auf den Reduktionsfaktor 0·0001 gestöpselt, Schlüssel 1



Fig. 61.

liegt nach oben, Schlüssel 3 und 4 sind offen, 2 liegt anfangs nach oben und wird zur Messung mittels des Hebels nach unten gelegt. Der beobachtete Ausschlag sei α_v, er giebt die Galvanometerkonstante. Nun folgt die Kabelmessung und hierzu kommt nur U_1 auf X, während alles übrige wie oben bleibt. Der erhaltene Ausschlag, der etwa eine Minute nach Niederlegen des Schlüssels 2 abgelesen wird, sei α_x. Bei gut isoliertem Kabel fällt derselbe sehr klein aus und man wählt dann im Interesse grösserer Genauig-

keit einen anderen Reduktionsfaktor, indem man 0·001, 0·01 und so fort stöpselt, bis der Ausschlag eine passende Grösse erreicht hat. In jedem Falle wird aber im Nebenschlussrheostat der vorher gesteckte Stöpsel erst gezogen, nachdem der folgende eingesteckt ist. Auch achte man bei allen Isolationsmessungen an Kabeln darauf, dass vor dem Schliessen oder Öffnen des Stromkreises das Galvanometer durch Stecken des Kurzschlussstöpsels in dem Nebenschlussrheostat gegen die auftretenden Ladungs- und Entladungsströme geschützt werde. Dieser Stöpsel muss natürlich bald nach Schluss des Kreises wieder gezogen werden, damit der für die Widerstandsmessung massgebende dauernde Ausschlag abgelesen werden kann.

Zweckmässig wird die Messung mit vertauschten Batteriepolen und Galvanometeranschlüssen wiederholt; hierzu kommutiert man mittels U_3, legt

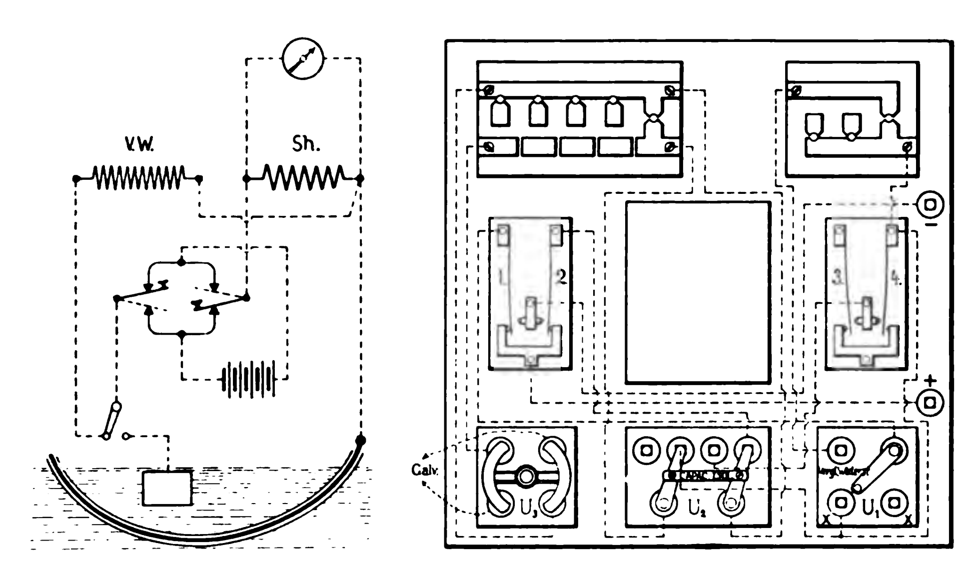


Fig. 62. Fig. 62a.

Schlüssel 2 nach oben und drückt Schlüssel 1, der zunächst ebenfalls nach oben liegt, mittels Hebel nach unten. Der gesuchte Isolationswiderstand berechnet sich dann nach der Formel:

$$X = \frac{W \cdot a_v \cdot s_x}{a_x \cdot s_v},$$

wo W die Grösse des Normal- oder Vergleichswiderstandes in Ohm, a_v den Galvanometerausschlag bei Bestimmung der Konstanten, s_v den hierbei gestöpselten Reduktionsfaktor, a_x das Mittel aus den beiden, bei der Kabelmessung beobachteten Ausschlägen und s_x den zugehörigen Reduktionsfaktor bezeichnen.

Es muss streng darauf geachtet werden, dass die Zuleitungskabel weder unter sich, noch mit anderen Metall- oder Holzteilen in Berührung kommen.

194. Kapazitätsmessung. Die Instrumentenanordnung (Fig. 57 u. 63) ist so eingerichtet, dass mit derselben, ohne dass die Schaltung geändert werden braucht, Kapazitätsmessungen vorgenommen werden können, wenn man nur den Umschalter U_2 auf Kapazität einstellt. Die Anschlüsse bleiben dieselben wie bei der Isolations-

messung, doch wird das Galvanometer in ein ballistisches Instrument verwandelt, und zwar dadurch, dass man den kleinen Widerstand aus den Klemmen der nicht benutzten Wicklung entfernt und nachdem man arretiert hat, in die unten am beweglichen System angebrachten Ringe die beiden beigegebenen Kugeln zur Erhöhung der Schwingungsdauer legt. Im Prinzip ist dann diese Messung der Isolationsmessung gleich.

Man wird nun den Ausschlag, den das ballistische Galvanometer bei Entladung eines Kondensators ergiebt, mit demjenigen, welcher durch Entladung des Kabels entsteht, nachdem dasselbe mit der gleichen Spannung wie der Kondensator geladen wurde, vergleichen.

Durch Umlegen des Schalters U_2 wird demnach ein Kondensator von bekannter Kapazität (vorgesehen ist ein solcher mit den Abteilungen 0·5 — 0·2 — 0·2 — 0·1 Mikrofarad) an Stelle des bei der Isolationsmessung

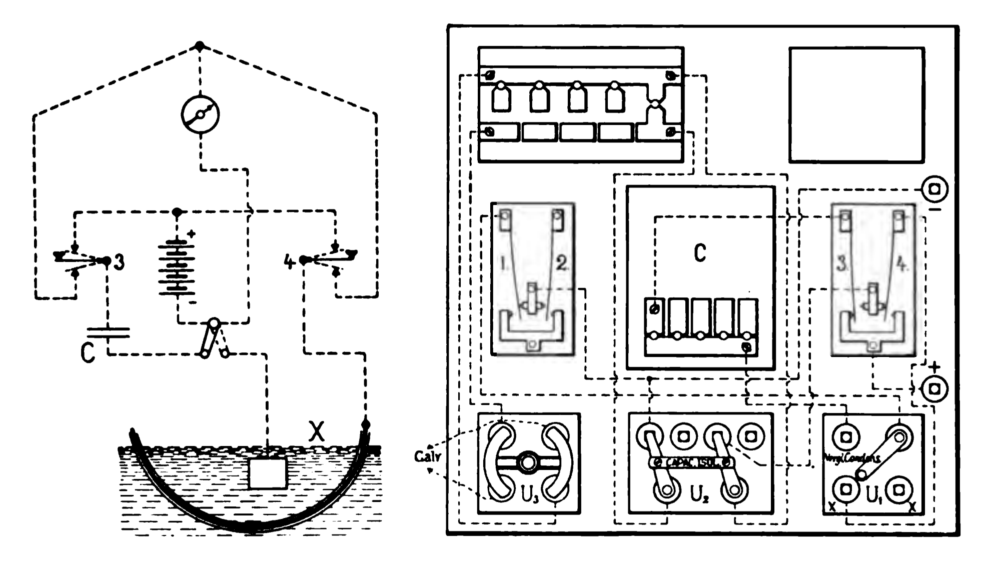


Fig. 63. Fig. 63a.

benutzten Vergleichswiderstandes gesetzt, so dass nunmehr das Schaltungsschema Fig. 63 und 63a in Frage kommt.

Bei der Ladung des Kondensators sowohl wie des Kabels, wird der Kurzschlussstöpsel in den Nebenschlussrheostaten gesteckt, jedesmal vor der Ladung aber wieder gezogen. Die Messung geht darauf folgendermassen vor sich:

Zunächst wird zum Zwecke der Konstantenbestimmung des Galvanometers mit dem Vergleichskondensator, der in passender Weise gestöpselt ist, der letztere geladen, indem man U_1 auf „Vergl." stellt, Schlüssel 1 nach unten legt, 2 und 4 öffnet und 3 aus der offenen Stellung zum Schliessen des Kreises mittels Hebel nach oben legt. Zur Entladung durch das Galvanometer wird dann nur Schlüssel 3 aus der Ladestellung „oben" mittels Hebel nach unten gedrückt und der erste Ausschlag des Galvanometers abgelesen. Dann folgt die Kabelmessung, wozu U_1 auf X gestellt wird; zur Ladung kommt Schlüssel 1 nach unten, 2 und 3 sind offen, 4 wird aus der offenen Lage mittels Hebel nach oben gedrückt. Zur Entladung

legt man schliesslich Schlüssel 4 aus der Ladestellung „oben" mittels Hebel nach unten und liest wieder den ersten Galvanometerausschlag ab.

Die gesuchte Kapazität des Kabels ergiebt sich dann aus der Formel

$$X = \frac{C \cdot a_x \cdot s_c}{a_c \cdot s_x},$$

wo C die im Kondensator gestöpselte Kapazität, a_c und a_x die Ausschläge bei Entladung des Kondensators bezw. des Kabels und s_c sowie s_x die zugehörigen Reduktionsfaktoren bezeichnen.

195. Kontrolle der Instrumente.

Es ist zu empfehlen, den Isolationswiderstand der Instrumentenanordnung, sowie die zum Kabel führenden Leitungen von Zeit zu Zeit, besonders aber vor Vornahme wichtiger Messungen, zu kontrollieren. Dies geschieht am zweckmässigsten in der Weise, dass die freien Enden dieser Leitungen, welche aus gut isolierten Kabeln bestehen müssen, so gebogen werden, dass sie frei in die Luft ragen; dieselben werden alsdann sorgfältig isoliert. Die Isolationsmessung hat dann wie auf S. 142 beschrieben zu erfolgen.

Vorher müssen jedoch die Hartgummiplatten der Rheostate und Batterie, die Hartgummisäulen der Schlüssel und Umschalter, sowie die Untersätze des Galvanometers mit einem trockenen wollenen Lappen sauber gereinigt werden. Schliesslich achte man auch auf die Verbindungsleitungen, an welchen zeitweise die Klemmschrauben nachgezogen werden müssen, da diese steifen, blanken Kupferdrähte nur an ihren Enden durch die Klemmen der betreffenden Apparate einen Stützpunkt haben.

Transportable Messeinrichtungen.

In den Kabelwerken sind besondere Prüfstationen eingerichtet, von denen aus die Kabel und Leitungen untersucht werden. Hier sind alle Instrumente in bequemer und übersichtlicher Weise angeordnet. Anders liegen die Verhältnisse, wenn die Kabel bei oder nach der Verlegung gemessen werden müssen. Die Instrumente müssen am Ort der Messung bald hier und bald da aufgestellt werden und dies ist nicht anders gut möglich, als wenn sie in geeigneter Weise transportabel angeordnet werden. Alle grösseren Elektrizitätsfirmen bauen derartige Instrumentarien, von denen ein tragbares von Siemens & Halske, A.-G. und ein Kabelmesswagen von Hartmann & Braun, A.-G. erwähnt seien.

Tragbare Kabelmessschaltung von Siemens & Halske, A.-G.

196. Einrichtung.

Die tragbare Kabelmessschaltung (Fig. 64) enthält alle für Isolations-, Kapazitäts- und Widerstandsmessungen, sowie Fehlerortsbestimmungen notwendigen Apparate. Der Widerstand bezw. Isolationsmessbereich ist etwa von 0·1 bis 1 000 000 000 Ohm, der Kapazitätsmessbereich von 0·005 bis 3 Mi und der Ort eines Fehlers kann für Leitungen mit etwa 0·5 bis 1000 Ohm Widerstand bestimmt werden.

Die Messbatterie besteht aus 104 Hellesen-Trockenelementen (Type 6), die in zwei Abteilungen übereinander angeordnet sind. Von diesen sind 15 sowie ein Vorschaltwiderstand von 49 500 Ohm fest montiert, während alle

anderen Elemente herausnehmbar angeordnet sind. Die Enden dieser 15 Elemente führen zu zwei Zellenschaltern auf der Deckplatte in den beiden hinteren Ecken. Der eine schaltet stets vier, der andere stets einzelne Elemente zu. Die Batteriespannung kann hierdurch längere Zeit genau, wenigstens aber auf 1 % übereinstimmend mit der verlangten Messspannung von 130 Volt eingestellt werden.

Das Voltmeter ist dem ganzen Apparat nicht zugefügt, sondern ist in einem besonderen kleinen Transportkasten untergebracht, damit es keinen Beschädigungen ausgesetzt ist. Dasselbe ist ein DEPREZ-D'ARSONVAL-Instrument mit aufgehängter Spule von hoher Empfindlichkeit, es besitzt Doppelleitung, und zwar die eine entsprechend dem Spannungsmessbereich von 0—0·02 Volt, bei höchster Empfindlichkeit von 0—200 beziffert, die andere in Megohm ge-

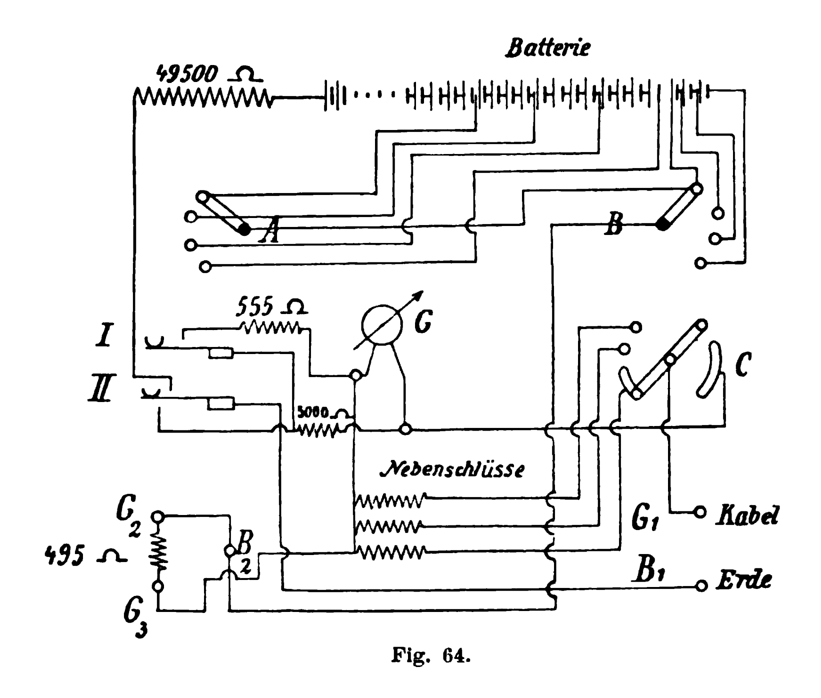


Fig. 64.

teilt. Das Voltmeter wird zur Benutzung auf die drei runden Messingplatten des Deckels horizontal aufgestellt und durch die Fussschrauben angeschlossen.

Die Anschlussklemmen und Schalter für die verschiedenen Messungen sind auf der Deckplatte untergebracht, wobei alle Stöpselschalter, die Irrtümer veranlassen könnten, vermieden sind. Aus dem Schema (Fig. 64) kann man die Verbindung aller einzelnen Teile erkennen. Schalter *A* und *B* bezeichnen die Zellenschalter, *G* das Voltmeter; Schalter *C* schaltet dasselbe mit drei verschiedenen Nebenschlüssen ein. *I* und *II* sind zwei Taster zur Kapazitätsmessung, für welche ebenso wie für Isolationsmessungen die Klemmen „Kabel" bezw. G_1 und „Erde" bezw. B_1 benutzt werden. Die Klemmen G_2 und G_3 dienen nur für Widerstands- und Fehlerortsbestimmungen. G_2 und B_2 sind gewöhnlich durch eine Lasche kurzgeschlossen; wird diese fortgenommen, so liegt zwischen G_1 und G_2 das Voltmeter mit Nebenschlüssen, zwischen B_1 und B_2 die Batterie mit Vorschaltewiderstand; beide können für andere Zwecke, z. B. in Verbindung mit einem Universalwiderstand verwendet

werden. In diesem Falle ist der Messbereich des Voltmeters 0 bis 0·02 Volt. Zwischen G_2 und G_3 liegt lediglich ein Widerstand.

Eine Gebrauchsanweisung sowie eine Tabelle für die Normalspannung von 130 Volt ist im Deckel des Kastens angebracht; hat die Messbatterie diese Spannung nicht, so können die Werte nach den angegebenen Formeln stets berechnet werden.

Siemens & Halske geben die Art und Weise der einzelnen Messungen wie folgt an:

197. Bestimmung der Messspannung.

Die Klemmen B und G (Fig. 65) werden durch die beigegebene Lasche oder einen Kupferdraht kurzgeschlossen und der Hebel C auf $^1/_{100}$ bewegt; das Voltmeter giebt einen Ausschlag und an der Skala von 0 bis 200 kann direkt die Messspannung abgelesen werden. Ist die Spannung nicht 130 Volt, so schalte man mit den Zellenschaltern A und B Elemente zu oder ab; ein Knopf am Schalter A verändert die Spannung um etwa 6 Volt, am Schalter B um etwa 1·5 Volt. Man vermeide es thunlichst auf die Empfindlichkeit $^1/_{10}$ oder gar $^1/_1$ mit dem Schalter C weiterzurücken, da dann der Zeiger stark gegen den Endausschlag schlägt und das Instrument leiden kann.

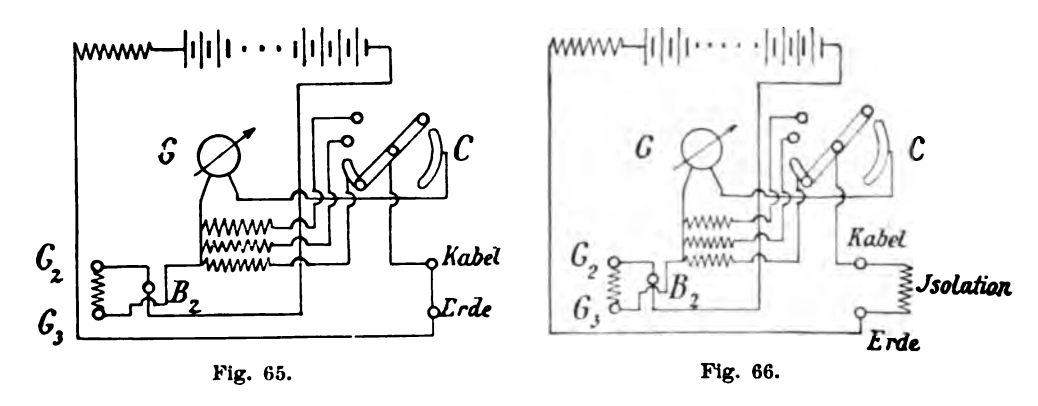


Fig. 65. Fig. 66.

Den Zellenschalter lasse man auf der gefundenen Stellung bei allen weiteren Messungen stehen; durch Stellung des Schalters C auf Null wird das Voltmeter ausgeschaltet, die Batterie bleibt indessen durch 50000 Ohm geschlossen, solange die Lasche zwischen „Kabel“ und „Erde“ nicht abgenommen ist; ist dies der Fall, so kann der Deckel des Apparates nach beendeter Messung nicht geschlossen werden.

Soll aus irgend einem Grunde die Spannung der Batterie mit einem anderen Voltmeter gemessen werden durch Anlegung desselben an die Klemmen B_1 und B_2, so ist zu berücksichtigen, dass 49500 Ohm der Batterie stets vorgeschaltet bleiben. Hat dieses Voltmeter den Widerstand R und zeigt es die Spannung E an, so ist die Batteriespannung

$$V = E\,\frac{R + 49500}{R}.$$

198. Isolationsmessung.

Das auf Isolation gegen Erde zu prüfende Kabel wird an die Klemmen „Kabel“ gelegt, die Klemme „Erde“ mit Erde verbunden; ist irgend ein anderer hoher Widerstand zu messen, so ist er ebenfalls an die beiden genannten Klemmen zu legen (Fig. 66).

Mittels des Hebels C wird das Voltmeter eingeschaltet; ist der Ausschlag bei $^1/_{100}$ Empfindlichkeit zu klein, so gehe man auf $^1/_{10}$ und wenn er hier

auch noch zu klein, auf $^1/_1$ über; man vergewissere sich stets erst über die Grösse des Ausschlages, bevor man auf die höhere Empfindlichkeit übergeht; da zuerst die unterste Empfindlichkeit eingeschaltet werden muss, um die höheren Empfindlichkeiten zu erlangen, so ist ein Verletzen des Voltmeters bei Unkenntnis der Grössenordnung der Isolation unmöglich.

Bei voller Empfindlichkeit (Stellung auf $^1/_1$) wird die Höhe der Isolation direkt in Megohm von der oberen Skala abgelesen, sofern die Messspannung vorher auf 130 Volt eingestellt war. Bei $^1/_{10}$ Empfindlichkeit ist der Widerstand

$$W = \tfrac{1}{10}\, W_1 - 45000 \text{ Ohm},$$

wenn W_1 abgelesen wird; bei $^1/_{100}$ Empfindlichkeit

$$W = \tfrac{1}{100}\, W_2 - 49500 \text{ Ohm},$$

wenn W_2 abgelesen wird.

Liest man nicht an der Ohmskala, sondern an der unteren Voltskala den Ausschlag a bezw. a_1 bezw. a_2 ab, so ist

$$\text{bei } ^1/_1 \text{ Empfindlichkeit } W = 50000\left(\frac{100\,V}{a} - 1\right),$$

$$\text{bei } ^1/_{10} \text{ Empfindlichkeit } W = 50000\left(\frac{10\,V}{a_1} - 1\right),$$

$$\text{bei } ^1/_1 \text{ Empfindlichkeit } W = 50000\left(\frac{V}{a_2} - 1\right),$$

wenn V die Messspannung ist. Ist $V = 130$ Volt eingestellt, so können diese Isolationswerte einer beigegebenen Tabelle entnommen werden, um jede Rechnung zu vermeiden.

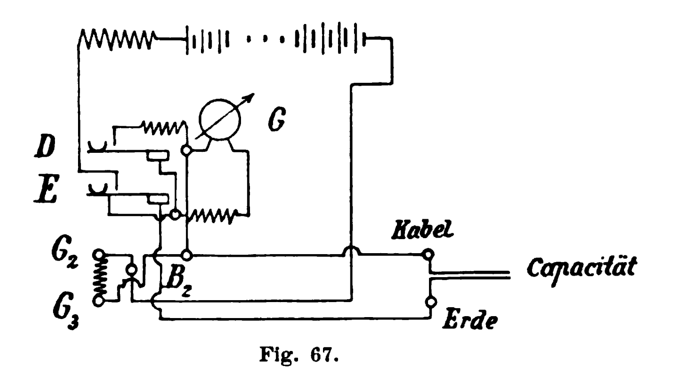


Fig. 67.

199. Kapazitätsmessung.

Kabel und Erde werden an die entsprechenden Klemmen gelegt (Fig. 67) wie bei der Isolationsmessung; ist nicht die Kapazität eines Kabels gegen Erde zu messen, sondern diejenige zwischen zwei anderen Leitern (Kondensatorbelegungen), so sind diese ebenfalls an die beiden Klemmen zu legen. Der Schalter C bleibt in der Nullstellung stehen. Das Kabel ladet sich negativ, während der positive Batteriepol an Erde liegt. Wird dann der Taster II niedergedrückt, so wird der positive Batteriepol isoliert und nur das Kabel über das Voltmeter zur Erde entladen. Der Zeiger des Voltmeters giebt dadurch einen momentanen Ausschlag, der beobachtet wird. Der Taster I

stellt lediglich einen Nebenschluss zum Voltmeter her, der bei Dauerstrom die Empfindlichkeit auf $^1/_{10}$ verringert; die ballistische Empfindlichkeit wird durch Zunahme der Dämpfung durch diesen Nebenschluss etwas stärker herabgedrückt. Wird I vor Drücken des Tasters II niedergedrückt, so ist der Nebenschluss aufgehoben und das Voltmeter besitzt seine volle Empfindlichkeit. Wird ein Ausschlag an der Voltskala beobachtet, so ist die Kapazität, welche zwischen den Klemmen „Kabel“ und „Erde“ liegt

$$K = c_1\, V a_1 \text{ bei nicht benutztem Taster } I,$$

bezw.

$$K_1 = c_2\, V a_2 \text{ bei niedergedrücktem Taster } I,$$

wenn V die Messspannung ist. c_1 und c_2 sind zwei von den Eigenschaften des Voltmeters abhängige Konstanten, die sich indessen mit der Grösse des Ausschlages etwas ändern, da die Dämpfung bei verschiedenen Ausschlägen verschieden ist. Für $V = 130$ Volt werden die Werte der Kapazität K einer beigegebenen Tabelle entnommen. Da die Ausschläge der Messspannung proportional sind, kann auch für eine abweichende Messspannung die Kapazität aus der Messspannung leicht berechnet werden.

Bei sehr feuchtem Wetter kann es vorkommen, dass bei gedrücktem Taster E ein kleiner dauernder Ausschlag am Galvanometer verbleibt, durch eine ungenügende Isolierung des abgeschalteten Batteriepoles gegen Erde verursacht; derselbe wird unschädlich, wenn die mit „Kabel“ und „Erde“ bezeichneten Klemmen miteinander vertauscht werden.

200. Widerstandsmessung.

Die Widerstandsmessung geschieht (Fig. 68) nach der Nebenschlussmethode, indem der unbekannte Widerstand zum Galvanometer parallel gelegt wird, und zwar bei kleinen Widerständen direkt, bei grösseren unter Vorschaltung eines Widerstandes zum Galvanometer. Der Stromkreis ist stets durch 50000 Ohm geschlossen; die geringe Änderung des Gesamtwiderstandes, den dieser durch Nebenschluss des unbekannten Widerstandes zum Galvanometer erleidet, kann vernachlässigt werden. Zur Messung sind die Klemmen G_1 und B_1 durch die Lasche kurz zu schliessen. Wird dann der unbekannte Widerstand zwischen die Klemmen G_1 und G_2 gelegt, also parallel zum Galvanometer mit Nebenschlüssen und einem Vorschaltwiderstand von 495 Ohm, so erhält man durch Bewegung des Hebels C Ausschläge a bezw. a_1, die von x abhängig sind, und zwar ist

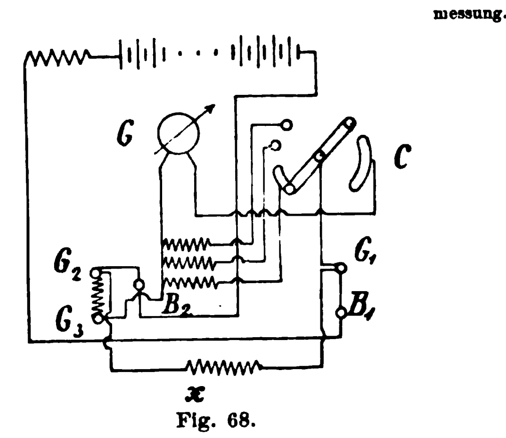


Fig. 68.

$$x = \frac{500\, a}{V - a}, \text{ wenn } C \text{ auf } {}^1/_{100} \text{ steht,}$$

$$x = \frac{545\, a_1}{10\, V - a_1}, \text{ wenn } C \text{ auf } {}^1/_{10} \text{ steht,}$$

und V die Messspannung angiebt. Bei der ersten Stellung wird $a = V$ für $x = \infty$, es kann also niemals ein Ausschlag grösser als die Messspannung erreicht werden; bei der zweiten Stellung werden die kleineren Widerstände

mit grösserer Genauigkeit erhalten. Die Stellung des Hebels auf $^1/_1$ Empfindlichkeit bringt keine wesentlichen Vorteile und ist deshalb unberücksichtigt geblieben. Wird der unbekannte Widerstand x an G_3 und G_1 angelegt, so liegt er zum Galvanometer nebst Nebenschlüssen ohne Vorschaltewiderstand parallel und es können entsprechend kleinere Widerstände gemessen werden.

Dieselben berechnen sich dann nach der Formel

$$x = \frac{5\,\alpha}{V - \alpha}, \text{ wenn } C \text{ auf } {}^1/_{100} \text{ steht,}$$

$$x_1 = \frac{50\,\alpha_1}{10\,V - \alpha_1}, \text{ wenn } C \text{ auf } {}^1/_{10} \text{ steht.}$$

Für $V = 130$ Volt sind die Werte dieser Formeln aus der Tabelle im Deckel des Kastens zu entnehmen. Man beachte gemäss derselben: kleine Widerstände misst man genauer durch Anlegung an G_3; bei $^1/_{100}$ Empfindlichkeit können alle Widerstände von 0·05 bis ∞ angenähert gemessen werden, bei $^1/_{10}$ Empfindlichkeit werden die Widerstände von 0·05 bis 10 Ohm

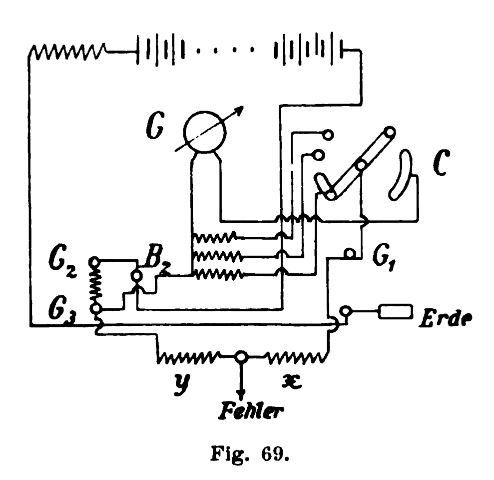


Fig. 69.

genauer bestimmt; grössere Widerstände lege man an G_2; bei $^1/_{100}$ Empfindlichkeit werden dann wieder alle Widerstände von 5 bis ∞ Ohm angenähert bestimmt, bei $^1/_{10}$ Empfindlichkeit die Widerstände von 1 bis 100 Ohm genauer.

201. Fehlerortsbestimmung. Soll der Ort des Isolationsfehlers einer Leitung bestimmt werden, so stellt man in bekannter Weise eine Schleifenleitung her, führt die beiden Enden an den Apparat (Fig. 69) und bestimmt das Verhältnis der beiden Kabelabschnitte von den Enden bis zum Isolationsfehler. Ist die Länge des Kabels bekannt, so kann aus diesem Verhältnis leicht der Ort des Fehlers erkannt werden. Da der Apparat alle Messungen nach der Methode des direkten Ausschlages vornimmt, so ist die Bestimmung des fraglichen Verhältnisses eine etwas andere als üblich und muss durch zwei Messungen geschehen. Bei der einen Messung liegt der eine Leitungsabschnitt im Nebenschluss zum anderen Abschnitt und dem Voltmeter, bei der anderen Messung werden die Leitungsenden vertauscht. Ändert sich die Stromstärke in dieser Zeit nicht, so verhalten sich die erzielten Voltmeterausschläge umgekehrt wie die Leitungsabschnitte.

Um die Messung in dieser Weise vorzunehmen, verbinde man die Endklemme mit Erde und lege die Schleifenleitung zwischen die Klemmen G_1 und G_3, oder auch G_1 und G_2, und beobachte den Ausschlag a_1 des Voltmeters bei Einschaltung des Schalters C auf $^1/_{100}$ oder $^1/_{10}$; sodann vertausche man die Enden der Schleifenleitung und beobachte bei derselben Schalterstellung den Ausschlag des Voltmeters; ist derselbe a_2 und bezeichnet man den Teil der Leitung, welcher zuerst an der Klemme G_1 anlag, mit x, den anderen Teil mit y, so ist

$$x : y = a_2 : a_1.$$

Bei dieser Messung erhält man die grössten Ausschläge, bezw. die grösste Genauigkeit, wenn man bei kleinen Leitungswiderständen (unter ca. 50 Ohm) die Klemme G_3, bei grösseren Leitungswiderständen die Klemme G_2 benutzt. Die Empfindlichkeit von $^1/_{10}$ kann man stets dann benutzen, wenn bei beiden Messungen der Ausschlag nicht über das Skalenende hinausgeht. Stets darauf zu achten ist, dass beide Ausschläge a_1 und a_2 bei derselben Schalterstellung und Benutzung derselben Klemmen beobachtet werden.

Da der Widerstand des Erdschlusses sich eventuell zwischen den Messungen ändern kann, so wird die Vertauschung der Enden der Schleifenleitung zweckmässig mehrmals vorgenommen und man wähle dann die Mittelwerte der erhaltenen Ausschläge a_1 und a_2; die Zuleitungen vom Instrument zum Kabel müssen bei Berechnung des Fehlerortes berücksichtigt werden, falls ihr Widerstand gegen den des Kabels nicht zu vernachlässigen ist. Besitzen dieselben den n-fachen Widerstand des Kabels, bezogen auf je 1 m Länge, so ist jede Zuleitung mit dem n-fachen Werte seiner wahren Länge in Rechnung zu setzen.

Besitzt das Kabel keinen Isolationsfehler, sondern ist es gerissen, so bestimmt man den Fehlerort in bekannter Weise durch Kapazitätsmessungen beiderseits unter Verwendung der angegebenen Schaltung.

Kabelmesswagen von Hartmann & Braun, A.-G.

202. Einrichtung.

Sein Inneres zeigt Fig. 70. Derselbe bietet dem Kabeltechniker bequemen Platz und Schutz gegen die Unbilden der Witterung, kann auch mit Heizung versehen werden.

An der Innenwand ist eine Marmortischplatte angeordnet, welche das vollständige Instrumentarium für Isolations- und Kapazitätsmessungen trägt, wie es auf Seite 152 ausführlich beschrieben ist; daneben befindet sich das Stativ für das Spiegelgalvanometer nebst Ablesevorrichtung. Alle Apparate können bequem entfernt und an anderer Stelle verwendet werden, so dass auf die Beschaffung einer zweiten Einrichtung für das Laboratorium des Elektrizitätswerkes verzichtet werden kann.

Das Stativ tritt frei durch ein im Boden des Wagens befindliches Loch hindurch und wird mit drei Stellschrauben auf dem Erdboden aufgestellt. Es ist somit von den Erschütterungen des Wagens unabhängig.

Der Anschluss der Kabel erfolgt entweder durch ihre direkte Einführung oder durch bewegliche Hilfskabel, die, auf eine Trommel aufgewickelt, mitgeführt werden.

Für die Vornahme von Isolationsmessungen ist eine Trockenbatterie von 120 Elementen vorhanden. Akkumulatoren sind weniger vorteilhaft

verwendbar, da es schwieriger ist, sie gut isoliert zu erhalten, wie Trockenelemente.

203. Inventarium eines Kabelmesswagens.

Im nachfolgenden ist das gesamte in zweckmässiger Weise zusammengestellte Inventarium eines Kabelmesswagens zusammengestellt:

Pos. No.	Anzahl	
1	1	Wheatstone-Stöpselmessbrücke mit Messbatterie.
2	1	Schleifdrahtbrücke für Fehlerortsbestimmung.
3	1	Marmorplatte mit Instrumentarium für Isolations- und Kapazitätsbestimmung bestehend aus den folgenden Pos. 4—10 (dargestellt in Fig. 57).
4	1	Nebenschluss-Rheostat zur Reduktion der Galvanometer-Empfindlichkeit auf $^1/_{10}$; $^1/_{100}$; $^1/_{1000}$; $^1/_{10000}$.
5	1	Vergleichswiderstand 2 × 100000 Ohm.
6	1	Glimmer-Kondensator 1 Mikrofarad unterteilt in 0·5; 0·2; 0·2; 0·1.
7	2	Kabelschlüssel (Fig. 59).
8	1	Federkommutator (Fig. 58).
9	1	Doppelpoliger Umschalter (Fig. 61).
10	1	Hebelumschalter (Fig. 60).
11	1	Drehspul-Spiegelgalvanometer mit hohem Widerstand und Einrichtung für ballistische Messungen (hierzu ein besonderer Schutzkasten für den Transport) (Fig. 71).
12	1	Ablese-Einrichtung (Laterne für Glühlicht oder Petroleum, mit verschiebbarer Linse und mit Skala).
13	1	Stativ mit Stellschrauben und horizontierbarer Tischplatte. (Hierzu Winde mit Drahtseil, um das Stativ während der Fahrt in die Höhe zu ziehen.)
14	1	Messbatterie für Kabelmessungen, 120 Elemente enthaltend, mit Abzweigklemmen und Sicherung.
15	1	Wasserdichte Schutzdecke zur Umhüllung des ganzen Wagens.
16	1	Kokosmatte für den Fussboden.
17	2	Wagenlaternen.
		Eventuell sind noch nachfolgende Hilfsapparate und Utensilien vorteilhaft:
18	1	Kabelrolle.
19	1	Elektrischer Heizapparat nebst Leitung und Anschlussvorrichtung, je nach den Stromverhältnissen.
20	1	Elektrischer Beleuchtungskörper nebst Installation, Ausschalter, Steckkontakten, Sicherungen etc.
21	1	Petroleumlampe.
22	2	Telephone.
23	1	Erdkontakt.
24	1	Erdthermometer.
25	1	Wandthermometer.
26	1	Verschiedene Draht- und Kabelklemmen.
27	1	Utensilien und Werkzeuge: Kleine Handlaterne, Staubpinsel, Petroleumkanne, Lederlappen, Putzlappen, Schere, Zylinderreiniger, Schmirgelpapier, Gurte zum Ziehen des Wagens, Klappstuhl, Schreibmaterial, Pinzette, Feilen, Rund- und Flachzange, Hammer, Nagelbohrer, Schraubenzieher.
28	1	2 × 20 m weiches Zuleitungskabel, bestisoliert; 20 m bestleitender, isolierter Kupferdraht, 1·5 mm; 20 m desgl. 1·0 mm; 1 Kilo blanker Kupferdraht, 1·5 mm; 1 Rolle Isolierband.

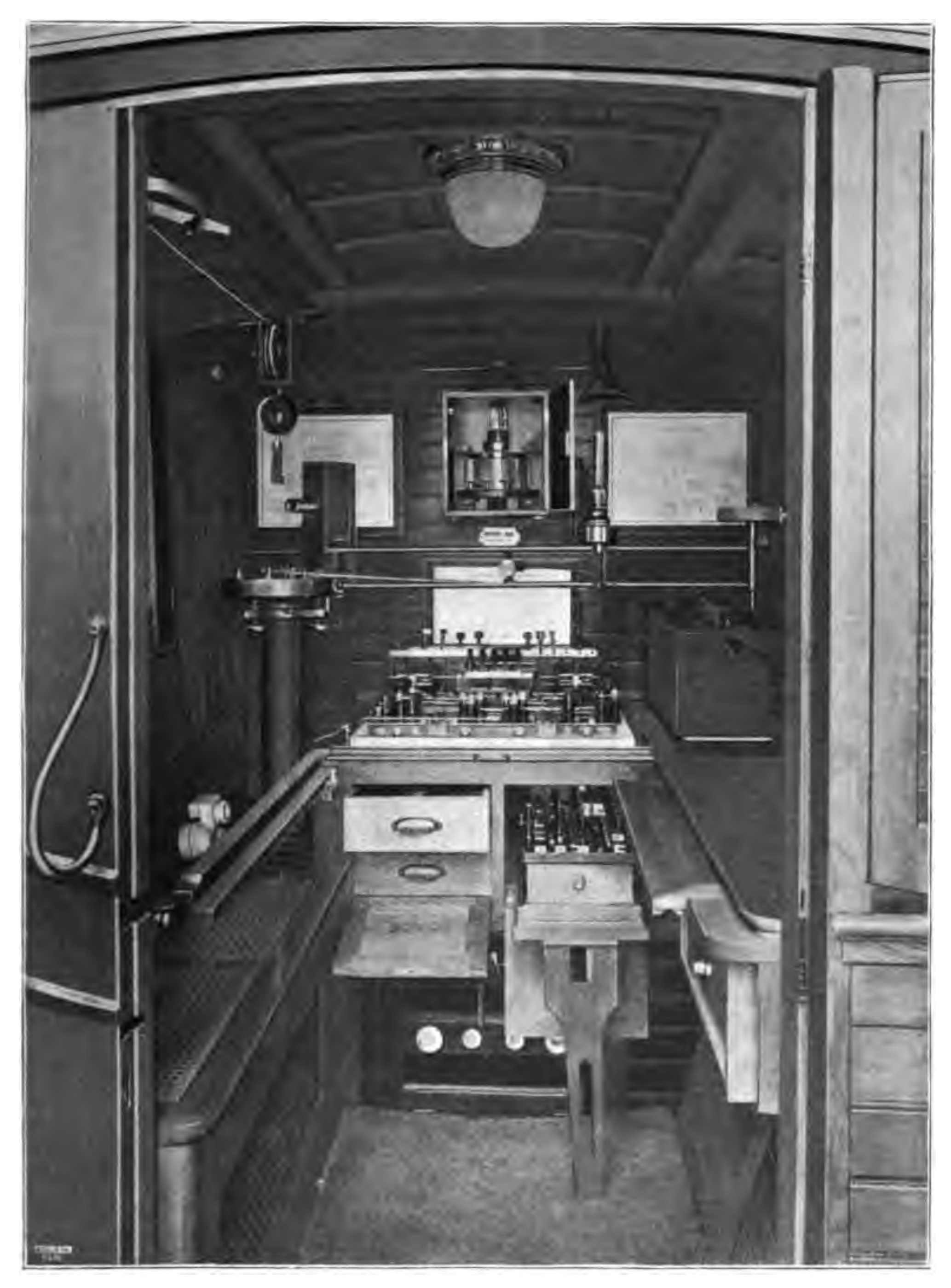


Fig. 70.

204. Galvanometer.

Das in den Wagen eingebaute Galvanometer ist mit festem Magnetsystem und beweglicher Spule ausgerüstet. Die Spule enthält zwei Wicklungen, eine von hohem Widerstand zur Benutzung bei Isolationsmessungen und eine von niedrigem Widerstand für Brückenmessungen, Fehlerortsbestim-



Fig. 71.

mungen u. s. w. Es ist also ein Auswechseln des Systems je nach dem Zweck der Messungen nicht erforderlich.

Die zur Messung nicht benutzte Wicklung wird durch einen veränderlichen, dem jeweiligen Zweck entsprechenden Widerstand geschlossen, um eine Dämpfung des Galvanometers zu erreichen. Werden ballistische Messungen vorgenommen, so bleibt die zweite Wicklung offen und die Schwingungsdauer des Systems wird durch Gewichte erhöht.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers lässt die Messung von Isolationswiderständen bis 100 000 Megohm zu.

Die Ablesevorrichtung ist für objektive Beobachtung bestimmt und es ist dann eine Laterne, die für die Aufnahme einer Petroleum- oder Glühlampe eingerichtet ist, fest mit dem Galvanometerstativ verbunden. An der Laterne befindet sich ein ausziehbarer Tubus mit Konvexlinse, welche das Bild des Diaphragmas oder, bei Verwendung einer Glühlampe mit geradem Kohlenfaden, das Bild dieses Fadens selbst auf den Galvanometerspiegel wirft, von wo dasselbe auf die ebenfalls fest mit dem Stativ verbundene Skala reflektiert wird. Das Galvanometer erhält bei dieser Anordnung einen Planspiegel und kann daher auch für subjektive Ablesung mittels Fernrohr und Skala benutzt werden.

Soll überhaupt nur subjektive Ablesung erfolgen, so wird an Stelle der Laterne ein kleines mit dem Galvanometer fest verbundenes Fernrohr in einer für den Beobachter bequemen Stellung angeordnet. In Fig. 71 ist das Stativ mit Galvanometer, Laterne und Skala dargestellt, wobei letztere an einem Arm angeordnet ist, der ein Gelenk hat und so mittels einer Mikrometerschraube eine beliebige Einstellung des Lichtbildes (bezw. des Fadenkreuzes bei Fernrohr-Ablesung) auf die Skala möglich ist.

Mit den vorbeschriebenen Einrichtungen und Apparaten lassen sich eine Reihe von Messungen ausführen, auf die schon früher näher eingegangen ist; es seien nnr noch die Vorbereitungen kurz erwähnt, die nach Eintreffen des Wagens den Messungen vorauszugehen haben.

205. Vorbereitungen zur Messung.

Der Wagen muss in erster Linie festgestellt werden, sodann wird das Stativ heruntergelassen, so dass es frei auf dem Boden steht, und die Stellschrauben so reguliert, dass Unebenheiten des Bodens ausgeglichen werden. Der die Skala tragende Auslegerarm wird so ausgerichtet, dass er annähernd parallel der Stirnwand des Wagens liegt. Nun wird das Galvanometer auf die vorläufig angenähert horizontierte Tischplatte des Stativs unter Benutzung der Hartgummiuntersätze gestellt, die Spiralfedern werden eingehakt, worauf die definitive Einstellung nach der Galvanometerlibelle erfolgt. Nun werden erst die Leitungen, die vom Galvanometer zum Messapparat führen, angeschlossen, um dann durch Lösung der Arretierung des Instrumentes dieses schliesslich gebrauchsfertig zu machen.

Die Messungen erfolgen dann wie bereits auf Seite 142—145 angegeben.

Marktgängige Leitungen und Kabel und deren Verwendung.

Wir haben im vorhergehenden Kapitel die Leitungen und Kabel entstehen sehen; wir wollen jetzt die üblichsten im Gebrauch befindlichen, ihre Konstruktion und ihren Verwendungszweck besprechen.

Im nachfolgenden wird vielfach auf die Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker hingewiesen, die auch, soweit sie für diesen Band in Betracht kommen, abgedruckt sind.[1]) Diese Normalien sind das Resultat einmütiger Beratungen zwischen der Draht- und Kabel-Kommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, der Vereinigung der Elektrizitätswerke und der deutschen Kabelfabriken. Zur Ergänzung sind auch teilweise die Kabelnormalien der englischen Kabelfabriken wiedergegeben.

Blanke Leitungen.

Bezeichnung: BC = blanker Kupferdraht,
BE = blanker Eisendraht.

206. Allgemeines über ihre Verwendbarkeit.

Sie bilden die Grundlage für den Aufbau isolierter Leitungen und sind daher am Anfang dieses Bandes bereits besprochen. Es sei hier nur noch erwähnt, dass in manchen Fällen den blanken Leitungen ein besonderer Schutz gegen chemische Einflüsse gegeben werden muss, der darin besteht, dass Eisenleitungen verzinkt, Kupferleitungen verzinnt werden. Mitunter empfiehlt es sich, die letzteren zu verbleien, oder was wesentlich besser ist, dieselben in der Bleipresse mit einem Bleimantel zu umpressen.

Verbindungs- und Abzweigstellen sind jedoch in letzterem Falle nicht ganz leicht herzustellen. In Band VI, 2 wird eine einfache Methode angegeben.

Blanke Leitungen finden als Freileitungen[2]) und im Inneren der Gebäude Verwendung. Im letzteren Falle jedoch nur unter besonderen Umständen und hauptsächlich dann, wenn infolge von chemischen oder Wärmeeinflüssen eine Beständigkeit der Isolierung nicht erwartet werden kann.

---

1) Mit Genehmigung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, wofür auch an dieser Stelle gedankt sei.

2) Vgl. Hdb. VI, 2: Freileitungen.

In Dreileiteranlagen kann der Mittelleiter auch blank verlegt werden, innerhalb der Gebäude erhält er einen Mindestquerschnitt von 4 mm². In das Erdreich verlegt, wähle man nur dann Querschnitte unter 25 mm², wenn die Beschaffenheit des Erdreiches chemische Beeinflussungen sicher ausschliesst. Die Frage, ob in diesem Fall verzinnter oder unverzinnter Draht gewählt werden soll, ist nicht einwandfrei entschieden, es wird vielfach behauptet, dass sich unverzinnter Draht besser hält.

Alle Daten bezüglich der Dimensionierung dieser Leitungen sind bereits in den Tabellen No. 7 u. 8 gegeben.

Für viele Fälle werden Drähte von grösserer mechanischer Festigkeit verwendet, die meistens aus Bronze bestehen, trotzdem die höhere Festigkeit nur auf Kosten der Leitfähigkeit erreicht werden kann.[1]) Um diesen Mangel auszugleichen, sind Drähte angegeben, die aus mehreren Metallen zusammengesetzt werden, von denen einer die grössere Festigkeit, der andere die bessere Leitfähigkeit besitzt.

So besteht z. B. der von BASSE & SELKE (Altena i. W.) fabrizierte Bimetalldraht aus einem inneren Kern aus Stahldraht, der von einer Kupferschicht konzentrisch umgeben ist.

Die umsponnenen Leitungen.

Frühere Bezeichnung = *U* (in den Sicherheitsvorschriften nicht mehr bezeichnet).

Sie kommen in ihrer einfachsten Form für die Installationstechnik kaum noch in Frage.

207. Umsponnene Leitungen ohne Imprägnierung.

Die Umwicklung des Leiters mit einer Isolierschicht allein, welche stets aus Baumwolle, Jute oder dergl. zu bestehen pflegt, genügt nicht.

Derartige Drähte sind nur für den Aufbau von Maschinen und Apparaten üblich, wo in engen Räumen grosse Kupfermengen untergebracht werden müssen, wo aber die einzelnen Windungen gegeneinander keine bedeutende Spannungsdifferenz haben. Aber auch in diesem Falle findet nachträglich meistens noch eine Tränkung mit einer Imprägnierflüssigkeit statt, die bei Maschinen aus Schellack, bei feineren Instrumenten dagegen vielfach aus Paraffin besteht.

208. Umsponnene imprägnierte Leitungen.

Umsponnene Drähte für Installationszwecke, die in der Regel eine oder zwei in entgegengesetzter Richtung laufende Bewicklungen und eine Umklöppelung haben, werden stets imprägniert. Sie entsprechen aber auch in dieser Form nicht den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, müssen also, wenn sie überhaupt verwendet werden, so behandelt werden, als wenn es sich um blanke Leitungen handelt.

Der Wert dieser Leitungen ist aber in vielen Fällen nicht von der Hand zu weisen, selbst wenn man dieselben wie blanke Leitungen auf Isolatoren verlegen muss. In heissen Räumen z. B. können Gummileitungen, gleichviel in welcher Form der Gummi aufgebracht ist, nicht von dauerndem Bestand sein. Hier sind mit Alaun getränkte oder mit Asbest isolierte Leitungen verwendbar. Die letzteren genügen in feuchtwarmen Räumen nicht, da die Asbesthülle Feuchtigkeit aufnimmt.

---

1) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 11.

Eine häufig vorkommende Imprägnierung wird durch die allgemein übliche schwarze Kabelmasse, deren Bestandteile Teer und Asphalt sind, hergerichtet. Gewachst finden diese Leitungen als Klingeldrähte Verwendung.

209. Hackethal-Draht.

Mennige stellt ein gutes Isoliermittel für umsponnene Leiter dar, welches von HACKETHAL in Verbindung mit Leinöl verwendet wird, um Leitungen, die mit Faserstoffen umkleidet sind, zu tränken, wodurch eine wetterbeständige Isolierung erreicht werden soll. Die Leitungen dürfen jedoch nicht zu frisch verwendet werden, es muss vielmehr eine gewisse Zeit seit ihrer Herstellung vergangen sein, ehe sie verlegt werden können. Die Thatsache, dass Mennige isoliert, soll während der Niederreissung des Telegraphenbureaus in Bremen festgestellt worden sein,[1]) wobei man fand, dass ein mit Mennige bedeckter eiserner Träger, der in den Stromkreis einer Stromquelle von 150 Volt eingeschaltet war, den Strom nicht leitete.

Im übrigen ist es eine altbekannte Thatsache, dass Bleiverbindungen gut isolieren. SIEMENS & HALSKE verwenden seit Jahrzehnten eine mit faserigem Material umsponnene Leitung, die mit Bleiweiss getränkt wurde. Dieses Material steht der mit Mennige isolierten Leitung in keiner Beziehung nach.

210. A. E. G. Leitungen mit Holzöl imprägniert.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft hat sich ein Isoliermaterial für elektrische Leitungen patentieren lassen, welches aus faserigem oder papierartigem Material besteht, das mit chinesischem Holzöl allein oder auch aus einem Gemisch desselben mit Sikkatifmitteln getränkt ist. Das sogen. chinesische Holzöl (Wood, Tungöl, Elecocaöl), hat die Eigenschaft vor ähnlichen Mitteln, viel schneller durch und durch fest und trocken zu werden und nach dem Trocknen nicht eine mit der Zeit brüchige, sondern elastisch bleibende, nicht schmelzbare Oberfläche zu hinterlassen. Leinöl trocknet dagegen nur an der Oberfläche, bleibt aber innen noch sehr lange weich und klebrig. Die Trockenfähigkeit des chinesischen Holzöles wird durch Vermischung mit Sikkatifmitteln noch mehr erhöht und man kann an Leitungsdrähte, die mit gewebeartigen Gespinsten isoliert und derart imprägniert sind, in bezug auf Isolierfähigkeit die grössten Ansprüche stellen.

Die Leitungen werden nicht allein gegen Witterungseinflüsse, sondern auch gegen Einflüsse benachbarter Starkstromleitungen geschützt und bilden in mancher Hinsicht einen Ersatz für Gummi- oder Guttaperchaleitungen.

Bei vorgenommenen Messungen an Drähten, deren Isolierung mit Leinöl getränkt war, haben sich im Vergleich zu den Messungen an vorstehend beschriebenen Leitungen Differenzen gezeigt, die zu ihren Gunsten

gleich nach Fertigstellung	4·46	Megohm pro km
nach achttägigem Trocknen	3·51	„ „ „
nach siebentägigem Liegen in einem feuchten Raum	0·559	„ „ „
und nach fünftägigem wiederholtem Trocknen der feuchten Drähte	0·895	„ „ „

betragen haben. Die Vergleichsmessungen wurden an genau gleichen Leitungen bei gleicher Temperatur vorgenommen.

211. Verschiedene Isolierstoffe.

THOMSON verwendet nach U. S. P. 11997 eine Umhüllung der Leiter mit Celluloseacetat oder -tetracetat. Auch nach U. S. P. 703135 wird Cellulose als

1) Fortschritte der Elektrotechnik 1902, S. 2405. — Ind. él. 1902, S. 194.

Isoliermittel verwendet. Sie wird aber mit Schwefelblumen vermischt, was unter Erwärmung und hohem Druck geschieht. Durch diesen Zusatz soll die Isolierfähigkeit der Masse verdoppelt und die Leitung grosse Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Feuchtigkeit erhalten.

HAMMESFAHR umhüllen den Leiter mit einem Geflecht aus gesponnenem Glase. U. S. P. No. 702625.

RALLI, H. MAYER & TOCH verwenden eine Mischung von pulverisiertem Torf, Harzöl, Amylacetat und Gummi. (E. P. No. 23603 1900.)

WEAVER verwendet eine Mischung aus gepulvertem Asbest, Farbstoff und Schellack. (E. P. No. 1012/1901.)

212. Flammensicherer Anstrich.

Es ist vielfach versucht worden, auch die Leitungen flammensicher zu machen, d. h. ihnen einen Schutzanstrich zu geben, welcher eine Entzündung nicht zulässt. Trotzdem auf diesen flammensicheren Anstrich lange Jahre in den Sicherheitsvorschriften hingewiesen war, hat man bisher ein einwandfreies Material nicht erhalten können.

Neuerdings werden bessere Produkte in den Handel gebracht, welche grösseren Anforderungen zu genügen scheinen.

Gummibandleitungen.

Bezeichnung: *G B* = Gummibandleitung,
M B = Mehrfach-Gummibandleitung.

213. Verwendungsgebiet.

Sie bilden ein ganz vorzügliches Material für die Inneninstallation in allen trockenen Räumen.

Solange die Marktlage die Verwendung guten Gummis gestattete, sind über diese Leitungen nur dann Klagen gehört worden, wenn sie absolut falsch angewendet wurden.

Die Verwendung minderwertiger, weitgestreckter Gummibänder führte zu vielen Missständen, obwohl sie bei Gummibandleitungen nicht so stark zu Tage traten, wie bei den später zu erwähnenden Gummibandschnüren, da jene noch durch besondere imprägnierte Isolierschichten geschützt wurden, die eine allzuschnelle Verrottung des Gummi verhindern.

Gummibandleitungen sind zulässig für Spannungen bis 250 Volt, jedoch nur für feste Verlegung; sie werden also auf Isolierrollen verlegt oder in Isolierrohre eingezogen.

In Rohre ohne isolierende Auskleidung dürfen sie nicht verlegt werden.

Hier sei aber noch auf einen Punkt aufmerksam gemacht. Bei Dreileiteranlagen mit geerdetem Mittelleiter (in Neuanlagen muss die Erdung erfolgen) werden häufig der Aussenleiter und der Mittelleiter in dasselbe Isolierrohr gelegt. Ist der Mittelleiter aber blank verlegt, so darf trotz der isolierenden Auskleidung des Rohres keine Gummibandisolierung für den Aussenleiter verwendet werden, da ja sonst die isolierende Auskleidung, also der Schutz gegen Erde, zwecklos wäre.

Als Stromzuführung zu transportablen Apparaten darf Gummibandleitung nicht verwendet werden, dagegen darf sie verseilt als Mehrfachleitung dienen und in solcher Form fest verlegt werden wie die Einzelleitung.

Normalien für Gummibandleitungen

(geeignet zur Verlegung in trockenen Räumen für Spannungen bis 250 Volt).

214. Konstruktion und Normalien.

Gummibandleitungen sind mit massiven Leitern in Querschnitten von 1 bis 16 mm², mit mehrdrähtigen Leitern in Querschnitten von 1 bis 150 mm² zulässig.

Die Kupferseele ist feuerverzinnt, mit Baumwolle umgeben und darüber mit unverfälschtem, technisch reinem, unvulkanisiertem Paraband umwickelt.

Die Parabandhülle muss für 100 m einadriger Leitung folgende Gewichte aufweisen:

Tabelle No. 53.

Kupferquerschnitt in mm²	Gummigewicht in g	Mindestzahl der Drähte bei mehrdrähtigen Leitern
0·75	120	7
1·0	130	7
1·5	155	7
2·5	190	7
4·0	230	7
6·0	280	7
10·0	340	7
16·0	420	7
25·0	550	7
35·0	650	19
50·0	800	19
70·0	1000	19
95·0	1200	19
120·0	1400	19
150·0	1550	19

Über der Parabandhülle befindet sich eine Umwicklung mit Baumwolle und über dieser eine Umklöppelung aus Baumwolle, Hanf oder ähnlichem Material, welche in geeigneter Weise imprägniert ist.

Die Toleranz der Dimensionen und Gewichte beträgt 5 %.

Die so bezeichneten Leitungen werden einer Durchschlagsprobe nicht unterworfen.

Diese Leitungen können, wenn mehrdrähtig ausgeführt, als Mehrfachleiter beliebiger Anordnung benutzt werden und sind als solche in trockenem Zustande einer halbstündigen Durchschlagsprobe mit 500 Volt Wechselstrom zu unterziehen.

215. Bemerkungen zu den Normalien.

Bemerkenswert ist, dass statt eines bestimmten Durchmessers des zur Isolierung verwendeten Gummibandes dessen Gewicht vorgeschrieben wird. Es rührt dies daher, dass der Gummi keine völlig einwandfreie Messung zulässt und weil dann das Band eine bestimmte Spannung beim Umwickeln ständig beibehalten muss. Dies ist aber ebenso schwierig wie die Herstellung von Gummibändern in genauen Dimensionen.

Die Vorschrift des Gewichtes dürfte aber auch nicht ganz einwandfrei sein, da, wie bereits früher erwähnt ist, reiner Paragummi, der hier zur

Verwendung kommen muss, eine ziemlich beträchtliche Feuchtigkeit aufnehmen kann. Zwischen zwei Übeln ist aber das kleinere gewählt.

Die Spannungsprüfung hat bei Mehrfachleitern nur den Zweck, ganz grobe Fehler aufzudecken. Beansprucht werden hierbei nur die Teile der Isolierung, welche sich gerade zugekehrt sind.

Die Imprägnierung der äusseren Umklöppelung erfolgt durch Holzteer, Chatterton-Compound oder auch mit Kautschuklack.

Die üblichen Querschnitte reichen bis zu 150 mm².

Die SIEMENS-SCHUCKERT-Werke stellen eine ganz vorzügliche Gummibandleitung her, bei welcher jedoch der Gummi nicht in Form eines Bandes um den Draht gelegt wird. Von der richtigen Erwägung ausgehend, dass der Gummi so vielen Fährnissen ausgesetzt ist und jedenfalls weniger leiden würde, wenn er einem haltbareren Körper eng angegliedert wird, wurde der Gummi in feste Zeugbänder eingewalzt, und zwar die gleiche Menge, welche in der sonst üblichen Anordnung auf den Leiter gebracht wurde. Es wird hierdurch eine besonders haltbare Isolierung geschaffen.

Tabelle No. 54.

Masse und Gewichte von Gummibandleitungen.[1]

216. Masse und Gewichte.

Querschnitt mm²	Mit eindrähtigem Leiter		Mit mehrdrähtigem Leiter		Mit vieldrähtigem Leiter	
	Durchmesser	Gewicht pro 1000 m	Durchmesser	Gewicht pro 1000 m	Durchmesser	Gewicht pro 1000 m
1	3·2	18	3·5	18	—	—
1·5	3·5	25	3·8	25	—	—
2·5	4·0	35	4·2	35	—	—
4	4·5	50	4·8	50	5·0	55
6	5·0	70	5·5	70	6·0	75
10	6·0	110	6·5	115	7·0	120
16	7·0	170	7·5	180	8·5	190
25	—	—	9·5	270	10·0	280
35	—	—	11·0	360	11·5	380
50	—	—	12·5	540	13·5	560
70	—	—	14·5	710	15·0	740
95	—	—	16·0	950	17·0	990
120	—	—	18·0	1190	19·0	1240
150	—	—	19·5	1470	21·0	1530

Gummiaderleitungen.

Bezeichnung: *G A* = Gummiaderleitung.
M A = Mehrfach-Gummiaderleitung.

217. Verwendungsgebiet.

Den Gummiaderleitungen ist das grösste Verwendungsgebiet vorbehalten, da die fest auf dem Leiter sitzende Gummischicht ein Eindringen von Feuchtigkeit nicht zulässt. Es ist daher auch möglich, von diesen Leitungen eine Wasserprobe zu verlangen.

1) Zusammengestellt nach dem Katalog der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke.

Von vornherein muss diese Leitung angewendet werden, wenn die absolute Spannung der Anlage, in welcher sie verwendet werden soll, 250 Volt übersteigt; sie ist zulässig bis zu 1000 Volt, wenn fest verlegt und bis 500 Volt, wenn zum Anschluss beweglicher Stromverbraucher verwendet.

In Bergwerken ist auch die feste Verlegung nur bis 250 Volt gegen Erde und 500 Volt gegeneinander gestattet, da hier die Einwirkung chemischer und alkalischer Substanzen wesentlich grösser ist und ferner auf die persönliche Sicherheit die weitgehendste Rücksicht genommen werden muss. Angewendet werden diese Leitungen in Querschnitten bis 1000 mm^2.

Sollen Gummiaderleitungen in Rohre verlegt werden, so ist es gleichgültig, ob solche mit oder ohne isolierende Auskleidung gewählt werden. In explosionsgefährlichen Räumen und in den Bühnenhäusern der Theater muss auch die Gummiaderleitung in Rohre verlegt sein; dasselbe gilt in Schlagwettergruben, jedoch mit der weiteren Einschränkung, dass Eisen- oder Stahlrohre Anwendung finden müssen.

Normalien für Gummiaderleitungen

(geeignet zur festen Verlegung für Spannungen bis 1000 Volt und zum Anschluss beweglicher Apparate bis 500 Volt).

218. Konstruktion. Normalien.

Die Gummiaderleitungen sind mit massiven Leitern in Querschnitten von 0·75 bis 16 mm^2, mit mehrdrähtigen Leitern in Querschnitten von 0·75 bis 1000 mm^2 zulässig.

Die Kupferseele ist feuerverzinnt und mit einer wasserdichten vulkanisierten Gummihülle umgeben.

Die Beschaffenheit der Gummihülle muss eine derartige sein, dass die Leitungen nach 24stündigem Liegen unter Wasser der halbstündigen Einwirkung eines Wechselstromes von 2000 Volt zwischen Kupferseele und Wasser, dessen Temperatur 25^0 C. nicht übersteigen darf, widerstehen.

Die Wandstärke der Gummihülle soll betragen:

Kupferquerschnitt mm^2	Höchstens mm	Mindestens mm	Mindestzahl der Drähte bei mehrdrähtigen Leitern	Kupferquerschnitt in mm^2	Höchstens mm	Mindestens mm	Mindestzahl der Drähte bei mehrdrähtigen Leitern
0·75	1·1	0·8	7	95·0	2·6	1·8	19
1·0	1·1	0·8	7	120·0	2·6	1·8	37
1·5	1·1	0·8	7	150·0	2·8	2·0	37
2·5	1·4	1·0	7	185·0	3·0	2·2	37
4·0	1·4	1·0	7	240·0	3·2	2·4	61
6·0	1·4	1·0	7	310·0	3·4	2·6	61
10·0	1·7	1·2	7	400·0	3·6	2·8	61
16·0	1·7	1·2	7	500·0	4·0	3·2	91
25·0	2·0	1·4	7	625·0	4·0	3·2	91
35·0	2·0	1·4	19	800·0	4·5	3·5	127
50·0	2·3	1·6	19	1000·0	4·5	3·5	127
70·0	2·3	1·6	19				

Die Toleranz der Dimensionen beträgt 5 %.

Jede Leitung muss über dem Gummi von einer Hülle gummierten Bandes umgeben sein. Als Einzelleitung verwendet, muss dieselbe ausserdem eine imprägnierte Umklöppelung erhalten; bei Mehrfachleitungen kann die Umklöppelung gemeinsam sein.

---

219. Leitungen in Beleuchtungskörpern.

In diesen Normalien bestehen einige bemerkenswerte Unterschiede gegen die vorher erwähnten Normalien für Gummibandleitungen. Sie sind bereits zulässig von einem Querschnitt von 0·75 mm², während jene erst bei 1 mm² beginnen. Es rührt dies daher, dass alle Leitungen mit nur einer Ausnahme erst von 1 mm² an verwendet werden dürfen. Diese Ausnahme bezieht sich auf die für Beleuchtungskörper zu verwendenden Leitungen und gestattet in und an Beleuchtungskörpern einen Querschnitt von 0·75 mm².

Die Bezeichnung „in und an Beleuchtungskörpern" bezieht sich aber ausschliesslich auf die Leitungen, welche in die Armaturen eingezogen oder unmittelbar an denselben befestigt werden. Beweglich angeordnete Leitungen an Tischlampen fallen nicht unter die erwähnte Bezeichnung, so dass für diese als Mindestquerschnitt 1 mm² gilt.

Da nun Beleuchtungskörper in der Regel eine isolierende Auskleidung nicht besitzen, so muss für dieselben analog den Vorschriften für Rohrverlegung Gummiaderleitung Anwendung finden.

Da die lichten Weiten der Beleuchtungskörper häufig sehr gering sind — es wird behauptet, vom künstlerischen Standpunkt ginge das nicht anders — so sind besondere Gummiaderleitungen (Fassungsadern) mit schwächeren Isolierschichten normalisiert worden, auf die später noch eingegangen werden wird.

220. Stärke der Gummischicht.

Für die Gummischichten sind bestimmte Maximal- und Minimalstärken vorgeschrieben. Es steht dies im innigen Zusammenhange damit, dass man den Gummi nicht einwandsfrei untersuchen kann. Eine bestimmte Minimalstärke ist auch bei gutem Material erforderlich, um der Wasserprobe und den späteren mechanischen Anforderungen zu genügen. Wären nun keine Maximaldimensionen angegeben, so wäre es recht leicht möglich, die Qualität des verwendeten Gummis durch eine entsprechende Stärke zu ersetzen. Durch die Stärke des isolierenden Materials kann ja schliesslich, vorausgesetzt, dass es wenigstens im frischen Zustande einigermassen isoliert, jede Durchschlagsprüfung erreicht werden und gerade bei zweifelhaften Gummimischungen ist dies der Fall; sie sehen frisch und einwandsfrei aus, sind elastisch, verrotten aber in allerkürzester Zeit. Infolge der Maximaldimensionen ist der Fabrikant an eine gewisse Güte des Materials gebunden.

221. Leitungen für Reihenschaltung.

Für Reihenschaltung von Beleuchtungskörpern kann, wie der Wortlaut der Sicherheitsvorschriften § 21b sagt, Gummiaderleitung auch bei einer Maschinenspannung von mehr als 1000 Volt verwendet werden, soweit zwischen zwei benachbarten Gummiaderleitungen eine geringere Spannung als 1000 Volt herrscht und die Beleuchtungskörper durch die ganze Art der Montage für die höchste in Betracht kommende Spannung dauernd gegen Erde isoliert und unzugänglich angebracht werden.

Hierzu sagt Dr. C. L. Weber in seinen Erläuterungen [1]):

„Diese Ausnahme für Reihenschaltungen in Hochspannungskreisen ist zunächst mit Rücksicht auf solche Anordnungen zugelassen, wie sie z. B. zur Beleuchtung des Nordostsee-Kanals im Betrieb sind, aber auch für Strassen-

---

1) Dr. C. L. Weber: Erläuterungen zu den Sicherheitsvorschriften, 6. Aufl., S. 79.

beleuchtung mit Bogenlicht oder Glühlicht vorkommen können. Bei ihnen ist zu jeder einzelnen der hintereinander geschalteten Lampen eine Drosselspule parallel geschaltet und es werden kurze Verbindungsdrähte zwischen den Klemmen der Lampe und denen der Drosselspulen nötig. Zwischen diesen Drähten herrscht aber im Betriebe nur die Lampenspannung und, wenn eine Lampe zerstört oder erloschen ist, höchstens eine um 100 % höhere, nicht aber die gesamte Betriebsspannung der Maschine. Dagegen kann zwischen diesen Drähten und Erde oder zwischen ihnen und dem Lampenmast sehr wohl Hochspannung bestehen; demnach müssen derartige Verbindungsleitungen noch durch besondere Hilfsmittel gegen den Mast isoliert werden, indem etwa der Träger, welcher Lampe, Drosselspule und Verbindungsleitungen enthält, isoliert am Mast befestigt, oder alle diese Teile in ein besonderes Gehäuse eingeschlossen sind, das isoliert angebracht ist."

Fassungs- und Pendeladern.

Bezeichnung: FA = **Fassungsadern,**
FA_2 = **Fassungsdoppeladern,**
PL = **Pendelschnur.**

222. Verwendungsgebiet.

Unter diesen Bezeichnungen sind einige Leitungstypen entstanden, die ausschliesslich für Beleuchtungskörper Verwendung finden. Ihre Isolierung besteht aus einer Umpressung mit Gummi, deren Stärke jedoch, um einen möglichst geringen äusseren Durchmesser zu erzielen, geringer bemessen ist als die der übrigen normalen Gummiaderleitungen.

Zum Einziehen in Beleuchtungskörper ist mindestens Draht dieser Konstruktion erforderlich, es empfiehlt sich aber in allen Fällen, wo die lichte Weite der Beleuchtungskörper das Einziehen normaler Gummiaderleitungen (GA) gestattet, diese statt Fassungsadern zu verwenden.

Da diese Leitungen nur bis 250 Volt zulässig sind, tritt an ihre Stelle bei höheren Spannungen ebenfalls die normale Gummiaderleitung.

Fassungsadern werden, da nur für den einen Zweck gedacht, nur in einem Querschnitt von 0·75 mm^2 hergestellt; wo dieser nicht ausreichen sollte, muss GA-Leitung verwendet werden.

Durch die nachstehend wiedergegebene Konstruktion ist der Durchmesser der Fassungsader auf 2·7 mm, der der Doppelader auf 5·4 mm heruntergedrückt, während der Durchmesser von Gummiaderleitungen des gleichen Querschnittes einen äusseren Durchmesser von 4·3 bezw. 9 mm hat.

Diese Leitungen können somit auch in die zierlichsten Beleuchtungskörper eingezogen werden.

Fassungsadern, insbesondere Fassungsdoppeladern werden häufig zum Anschluss beweglicher Stromverbraucher verwendet. Dies ist aber nicht ratsam, nach den Verbandsvorschriften auch nicht zulässig. Für diesen Zweck dürfen vielmehr ausschliesslich nur Gummiaderleitungen Verwendung finden, wodurch naturgemäss eine grössere lichte Weite der Einführungswege am Beleuchtungskörper bezw. Stromverbraucher erforderlich wird. Nach den neuesten Verbandsvorschriften ist dieselbe für alle Beleuchtungskörper, in die zwei Leitungen eingezogen werden sollen und welche mit Spannung unter 250 Volt arbeiten sollen, auf 6 mm und bei höheren Spannungen auf 12 mm normiert. Seitens des Verbandes ist allen deutschen Beleuchtungskörperfabriken[1]) diese

1) ETZ 1901, S. 488.

Tabelle No. 55.

Durchmesser und Gewichte normaler Gummiaderleitungen für 1000 Volt.

Querschnitt bei Einfachleitungen 1 Mal, bei Doppelleitungen 2 Mal, bei Dreifachleitungen 3 Mal	Einfachleitungen GA.						Doppelleitungen MA.						Dreifachleitungen MA.					
	Mit eindrähtigem Leiter		Mit mehrdrähtigem Leiter		Mit vieldrähtigem Leiter		Mit eindrähtigem Leiter		Mit mehrdrähtigem Leiter		Mit vieldrähtigem Leiter		Mit eindrähtigem Leiter		Mit mehrdrähtigem Leiter		Mit vieldrähtigem Leiter	
	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht	Durchmesser	Gewicht
0·75	4·3	30	4·5	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1·0	4·5	35	5·0	35	—	—	10·0	90	10·5	100	—	—	10·5	120	11·5	130	—	—
1·5	5·0	40	5·0	40	—	—	10·5	110	11·0	120	—	—	11·5	150	12·0	160	—	—
2·5	5·5	50	5·5	55	—	—	12·0	150	12·5	160	—	—	13·0	205	13·0	220	—	—
4·0	6·0	75	6·5	80	7·0	90	13·5	200	14·0	210	14·5	230	14·5	260	15·0	280	15·5	300
6·0	6·5	95	7·0	100	7·5	110	14·5	250	15·5	260	16·0	280	15·5	340	16·5	380	17·0	370
10·0	8·0	140	8·5	150	9·0	160	16·5	370	18·5	400	19·0	420	17·5	510	19·5	550	20·0	590
16·0	9·0	205	10·0	215	10·5	230	18·5	500	20·5	540	21·5	610	19·5	720	22·0	770	23·0	850
25·0	—	—	11·5	320	12·0	340	—	—	23·5	790	24·5	870	—	—	25·0	1120	26·0	1230
35·0	—	—	13·0	420	14·0	460	—	—	26·5	1050	—	—	—	—	28·5	1470	—	—
50·0	—	—	14·0	590	15·0	640	—	—	28·5	1430	—	—	—	—	30·5	2000	—	—
70·0	—	—	17·0	840	18·0	900	—	—	33·5	1950	—	—	—	—	36·0	2800	—	—
95·0	—	—	19·5	1 100	21·0	1150	—	—	38·5	2600	—	—	—	—	41·5	3700	—	—
120·0	—	—	21·0	1 350	22·5	1420	—	—	41·5	3200	—	—	—	—	44·5	4520	—	—
150·0	—	—	23·0	1 680	24·5	1750	—	—	45·5	3900	—	—	—	—	49·0	5550	—	—
185·0	—	—	24·5	2 070	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
240·0	—	—	28·5	2 650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
310·0	—	—	31·5	3 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400·0	—	—	36·0	4 350	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500·0	—	—	38·5	5 350	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
625·0	—	—	42·5	6 650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800·0	—	—	47·5	8 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000·0	—	—	51·5	10 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Bedingung mitgeteilt worden, so dass die Annahme von Körpern, welche diesen Bedingungen nicht entsprechen, abgelehnt werden kann. Für Stehlampen wird allerdings die lichte Weite von 6 mm noch nicht genügen und es empfiehlt sich in solchen Fällen, den Fabrikanten einfach aufzugeben, dass dieselben so beschaffen sein müssen, dass ihre lichte Weite für solche Leitungen ausreicht, welche den Verbandsnormalien entsprechen und zum Anschluss beweglicher Stromverbraucher zugelassen sind.

Auch die sehr verbreiteten Schnurzugpendel müssen, da sie auch als Beleuchtungskörper aufgefasst werden müssen, mit Gummiaderleitungen ausgestattet werden. Da die Leitungen über Rollen geführt werden, erwies sich die starke Isolierung der gewöhnlichen Gummiaderleitungen als nicht biegsam genug, so dass auch für diesen Fall eine den Fassungsadern ähnliche Leitung, die Pendelschnur, normalisiert wurde. Um dieser eine möglichst grosse Beweglichkeit zu sichern, muss der Kupferleiter aus Drähten von höchstens 0·3 mm Durchmesser bestehen. Der Durchmesser der Rollen an den Pendeln selbst soll bei Verwendung einfacher Schnüre nicht kleiner als 25 mm und bei Verwendung doppelter nicht kleiner als 35 mm sein, damit die Leitung nicht durch allzu scharfe Biegung beansprucht wird, zumal sowieso durch die Auf- und Abwärtsbewegung der Pendel die Isolierung sehr angegriffen wird.

Die Pendelschnur enthält, da sie das Gewicht der Armatur aufzunehmen hat, stets ein Tragseilchen, welches aus Hanf, Baumwolle, Stahl- oder Eisendraht besteht. Bei Doppelpendelschnüren, welche verseilt werden, wird, um ihnen eine runde Form zu geben, Füllmaterial beigelegt. — Um den Durchmesser möglichst gering zu halten, kann das letztere so eingerichtet werden, dass es direkt als Tragschnur dienen kann. Tragseilchen aus Metall werden durch besondere Isolierung geschützt.

Normalien für Fassungsadern.

Bezeichnung: FA = **Fassungsadern (geeignet zur Installation von Beleuchtungskörpern).**

223. Konstruktion. Normalien.

Die Fassungsader besteht aus einem massiven oder mehrdrähtigen Leiter von 0·75 mm^2 Kupferquerschnitt.

Die Kupferseele ist feuerverzinnt und mit einer vulkanisierten Gummihülle umgeben, deren Wandstärke 0·6 mm betragen soll. Über dem Gummi befindet sich eine Umklöppelung aus Baumwolle, Hanf, Seide oder ähnlichem Material, welches auch in geeigneter Weise imprägniert sein kann, und darf der äussere Durchmesser der Ader 2·7 mm nicht übersteigen.

Die Toleranz der Dimensionen beträgt 5 %.

Die so bezeichnete Ader ist, wenn 5 m lang, doppelt zusammengedreht, in trockenem Zustande einer $^1/_2$ stündigen Durchschlagsprobe mit 1000 Volt Wechselstrom zu unterziehen.

Normalien für Fassungsdoppeladern.

Bezeichnung: FA_2 = **Fassungsdoppelader (geeignet zur Installation von Beleuchtungskörpern).**

Die Fassungsdoppelader besteht aus zwei nebeneinander liegenden nackten Fassungsadern, welche eine gemeinsame Umklöppelung aus Baumwolle, Hanf, Seide oder ähnlichem Material haben, die auch imprägniert sein kann.

Die äussersten Dimensionen dürfen 5·4 mm nicht übersteigen.

Die Toleranz der Dimensionen beträgt 5 %.

Die so bezeichnete Fassungsdoppelader ist in trockenem Zustande einer 1/2 stündigen Durchschlagsprobe mit 1000 Volt Wechselstrom zu unterziehen.

Normalien für Pendelschnur.

Bezeichnung: *PL* = Pendelschnur (geeignet zur Installation von Schnurzugpendeln).

Die Fassungsschnur hat einen Kupferquerschnitt von 0·75 mm². Die Kupferseele besteht aus feuerverzinnten Drähten von höchstens 0·3 mm Durchmesser, welche miteinander verseilt sind. Die Kupferseele ist mit Baumwolle umsponnen und darüber mit einer vulkanisierten Gummihülle von 0·6 mm Wandstärke umgeben. Zwei Adern sind mit einer Tragschnur oder einem Tragseilchen aus geeignetem Material zu verseilen und erhalten eine gemeinsame Umklöppelung aus Baumwolle, Hanf, Seide oder ähnlichem Material. Die Tragschnur oder das Tragseilchen können auch doppelt zu beiden Seiten der Adern angeordnet werden. Wenn das Tragseilchen aus Metall hergestellt ist, muss es umsponnen oder umklöppelt sein. Die gemeinsame Umklöppelung der Schnur kann wegfallen, doch müssen die Gummiadern dann einzeln umklöppelt werden.

Die so bezeichnete Fassungsschnur soll in trockenem Zustande einer Wechselspannung von 1000 Volt widerstehen.

Die Pendelschnüre für Zugpendel u. s. w. müssen so biegsam sein, dass einfache Schnüre um Rollen von 25 mm Durchmesser und doppelte um Rollen von 35 mm Durchmesser ohne Nachteil geführt werden können.

Gummiaderleitungen für Hochspannung.

Bezeichnung: *GA* = Gummiaderleitung mit der zulässig höchsten Spannung als Index, also *GA* 5000 für Gummiaderleitungen für 5000 Volt.

224. Verwendungsgebiet.

Für derartige Leitungen ist ein reges Bedürfnis vorhanden. Man denke nur an die vielen Fälle, wo aus Kabelleitungen mit anderen Leitungen zu Motoren, die mit Hochspannung direkt betrieben werden sollen, übergegangen werden soll und wo die Verwendung von Kabeln ausgeschlossen ist, weil die erforderlichen Endverschlüsse nicht untergebracht werden können.

Ferner müssen sie bei Serienschaltungen von Beleuchtungskörpern verwendet werden, sowie deren Spannung 1000 Volt übersteigt. Zugängliche Beleuchtungskörper sind nur bis 600 Volt zulässig.

Aber auch bei geringeren Spannungen wird häufig eine bessere Isolierung der Leitungen erwünscht sein, als wie sie in den Gummiaderleitungen für 1000 Volt gegeben ist.

Normalien für die Konstruktion und Prüfung von Gummiaderleitungen für Hochspannung.

(Geeignet zur festen Verlegung.)

225. Konstruktion und Normalien.

Die Hochspannungsleitungen sind mit massiven oder mehrdrähtigen Leitern in Querschnitten von 1 bis 500 mm² zulässig.

Die Kupferseele ist feuerverzinnt und mit einer wasserdichten, vulkanisierten Gummihülle zu umgeben. Dieselbe muss bei Spannungen von mehr als 1000 Volt aus mehreren Lagen Gummi hergestellt sein.

Die Beschaffenheit der Gummihülle muss eine derartige sein, dass die Leitungen nach 24stündigem Liegen unter Wasser, dessen Temperatur 25° C. nicht übersteigen darf, einer mindestens einstündigen Einwirkung eines Wechselstromes, dessen Spannung aus der nachstehenden Tabelle hervorgeht, widerstehen.

Die Prüfspannungen sollen betragen:

Betriebsspannung Volt	Prüfspannung Volt	Betriebsspannung Volt	Prüfspannung Volt
1 000	2 000	6 000	10 000
2 000	4 000	7 000	12 000
3 000	6 000	8 000	13 000
4 000	8 000	10 000	15 000
5 000	9 000	12 000	18 000

Jede Leitung muss über dem Gummi von einer Hülle gummierten Bandes umgeben sein. Als Einzelleitung verwendet, muss dieselbe ausserdem eine imprägnierte Umklöppelung erhalten. Bei Mehrfachleitungen kann die Umklöppelung gemeinsam sein und können Mehrfachleitungen auch eine gemeinsame Hülle von Metalldrähten (Geflecht, Umwicklung) erhalten.

---

226. Okonitadern. FELTEN und GUILLEAUME bringen Okonitleitungen in den Handel, welche für Spannungen bis 10000 Volt als verwendbar angegeben werden. Der grosse Vorteil dieser Leitungen besteht darin, dass Okonit nicht wie Gummi von Luft und Licht angegriffen wird.

Tabelle No. 56.

Okonitadern von Felten & Guilleaume.

Kupferquerschnitt	Anzahl und Durchmesser der Drähte	für 250	750	1		5000 Volt
		Aussendurc[illegible]			[illegible]n	
1·0	1 × 1·13 mm	4·5	4·9	6·5	7·0	8·0
1·5	1 × 1·38 „	4·9	5·3	7·0	7·5	8·5
2·5	1 × 1·79 „	5·2	5·7	7·5	8·0	9·0
4·0	1 × 2·26 „	6·0	6·4	8·0	8·5	9·5
6·0	1 × 2·77 „	6·5	7·0	9·0	9·5	10·5
10·0	1 × 3·57 „	7·5	8·1	10·0	10·5	12·0
16·0	1 × 4·52 „	8·5	9·4	11·0	11·5	13·0
25·0	1 × 5·65 „	10·5	11·0	—	—	—
25·0	19 × 1·3 „	11·5	12·6	14·0	14·5	16·0
35·0	19 × 1·53 „	12·5	14·1	16·0	16·5	18·0
50·0	19 × 1·83 „	14·5	16·1	18·0	19·0	20·5
70·0	19 × 2·17 „	16·5	17·9	20·0	21·0	22·5
95·0	19 × 2·53 „	19·0	19·9	22·0	23·0	25·0
120·0	19 × 2·84 „	22·0	22·5	23·0	24·0	26·0
150·0	19 × 3·17 „	25·0	25·5	27·0	28·0	30·0

Auf den verzinnten Leiter folgt eine Schicht von Patent-Okonit, die mit Hanfgarn umflochten wird. Als Imprägnierung dieser Schicht wird Kautschuklack verwendet.

Tabelle No. 56 giebt die Daten dieser viel verwendeten Leitungen an.

Gummiband und Gummiaderleitungen mit Schutzschichten gegen mechanische Verletzungen.

[illegible] Für Leitungen, die starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, ist eine Schutzhülle unerlässlich. Sie ist besonders erforderlich für Leitungen in Bergwerken, Theatern, Schiffen.

In der Regel wird eine Umklöppelung mit Drähten oder starken Hanfschnüren gewählt, wie sie z. B. in Fig. 72 dargestellt ist; auch die Umwicklung mit Draht wird zweckmässig angewendet. In besonderen Fällen kann auch ein guter Schutz dadurch erreicht werden, dass man die Leitungen in Leder einnäht.



Fig. 72.

Schnurleitungen.

Bezeichnung: *SB* - Gummibandschnüre,
SA Gummiaderschnüre.

[illegible] Verwendungsgebiet. Diese Leitungen gestatten eine schnelle und angenehme Montage, so dass Schnurleitungen, auch fälschlich Litzen genannt, die weiteste Verbreitung in der Inneninst[illegible]len. Manche Vorteile dieser Leitungen und ihrer Anbringung (vg[illegible] 2) führten aber dazu, sie auch überall da anzubringen, wo sie nic[illegible] gehören.

Wie aus den nachfolgenden Normalien hervorgeht, ist die Isolierung dieser Leitungen nicht den gleichen Anforderungen gewachsen, wie z. B. die verwandten Gummiband- bezw. Gummiader l e i t u n g e n, so dass auch eine Gleichstellung dieser beiden Leitungsgruppen nicht möglich ist.

Schnurleitungen mit Gummibandisolierung können überall in trockenen Wohnräumen bei Spannungen bis 125 Volt verwendet werden. Bezüglich der Art ihrer Verlegung sind jedoch bestimmte Beschränkungen erforderlich gewesen. So darf diese Leitung nicht unter Putz verlegt werden und kann als Zuleitung zu beweglichen Stromverbrauchern keine Verwendung finden.

In Kellern, Hausfluren, offenen Hallen, Schlafzimmern sollten Gummibandschnüre nie verlegt werden.

Gummiaderschnüre hingegen sind für Spannungen bis 1000 Volt bei fester Verlegung und bis 500 Volt zum Anschluss beweglicher Apparate gestattet.

In feuergefährlichen Betriebsstätten sind nur Gummiaderschnüre zulässig, in explosionsgefährlichen dagegen beide Arten verboten. Das letztere gilt auch in durchtränkten und feuchten Räumen, wie auch in Theatern.

Das nahe Zusammenlegen der beiden Pole hat auch eine Beschränkung des zulässigen Querschnittes herbeigeführt. Gummibandschnüre sind nur bis 4 mm², Gummiaderschnüre bis 6 mm² zulässig. Als niedrigster Querschnitt ist für erstere 1 mm², für letztere 0·75 mm² gestattet. Dieser Unterschied kommt daher, dass die Schnur mit Gummiaderisolierung für den einzigen Fall, wo überhaupt der Querschnitt von 0·75 mm² zulässig, verwendbar ist, nämlich zum Einziehen in Beleuchtungskörper.

Normalien für Gummiband- und Gummiaderschnüre.

Nach den gemeinsamen Beschlüssen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und der Vereinigung der Elektrizitätswerke.

1. Gummibandschnüre [1])

(geeignet zur festen Verlegung in trockenen Räumen für Spannungen bis 125 Volt).

229. Konstruktion der Schnüre. Die Gummibandschnüre sind in Querschnitten von 1 bis 4 mm² zulässig. Die Kupferseele besteht aus feuerverzinnten Kupferdrähten von höchstens 0·3 mm Durchmesser, welche miteinander verseilt sind. Die Kupferseele ist mit Baumwolle umsponnen und darüber mit unverfälschtem technisch reinem unvulkanisiertem Paraband umwickelt. Die Überlappung der Umwicklung muss mindestens 2 mm betragen.

Das Gewicht der Parabandhülle muss für 100 m einadriger unverseilter Leitung

bei	0·75	mm²	mindestens	120 g
„	1·0	„	„	130 „
„	1·5	„	„	155 „
„	2·5	„	„	190 „
„	4·0	„	„	230 „

betragen.

Über der Parabandhülle jeder Einzelleitung befindet sich eine Umwicklung mit Baumwolle und über dieser eine Umklöppelung aus widerstandsfähigem Material, das nicht brennbarer sein darf als Seide oder Glanzgarn.

Die Toleranz der Dimensionen und Gewichte beträgt 5 %.

Die so bezeichneten Leitungen sind in trockenem Zustande einer ½ stündigen Durchschlagsprobe mit 500 Volt Wechselstrom zu unterwerfen.

2. Gummiaderschnüre [1])

(geeignet zur festen Verlegung für Spannungen bis 1000 Volt und zum Anschluss beweglicher Apparate bis 500 Volt).

Gummiaderschnüre sind in Querschnitten von 0·75 bis 6 mm² zulässig. Die Kupferseele besteht aus feuerverzinnten Kupferdrähten von höchstens

1) Unter Schnüren sind im allgemeinen Doppelleitungen verstanden. Leitungen gleicher Konstruktion mit nur einer oder mehr als zwei Seelen sind durch den Zusatz „Einfach“, „Dreifach“ u. s. w. besonders zu bezeichnen.

0·3 mm Durchmesser, welche miteinander verseilt sind. Die Kupferseele ist mit Baumwolle umsponnen und darüber mit einer wasserdichten vulkanisierten Gummihülle umgeben.

Die Beschaffenheit der Gummihülle muss eine derartige sein, dass die Gummiader nach 24stündigem Liegen unter Wasser einer $^1/_2$stündigen Einwirkung eines Wechselstroms von 2000 Volt zwischen Kupferseele und Wasser, dessen Temperatur 25° C. nicht übersteigen darf, widersteht.

Die Wandstärke der Gummihülle soll betragen bei einem Querschnitt von

0·75	mm²	höchstens	1·1	mm,	mindestens	0·8	mm
1·0	„	„	1·1	„	„	0·8	„
1·5	„	„	1·1	„	„	0·8	„
2·5	„	„	1·4	„	„	1·0	„
4·0	„	„	1·4	„	„	1·0	„
6·0	„	„	1·4	„	„	1·0	„

Die Toleranz der Dimensionen beträgt 5 %.

Jede Einzelleitung muss über dem Gummi mit einer Schutzhülle umgeben sein, deren Art je nach dem Verwendungszweck zu wählen ist. Bewegliche Leitungen sind ausserdem mit einer gemeinsamen geeigneten Umhüllung zu umgeben.

Kabel.

Wie an anderer Stelle auseinandergesetzt, genügen die vorerwähnten Leitungen nicht für alle Fälle, da sie sowohl chemischen als auch mechanischen Angriffen nicht widerstehen können.

Die häufig notwendige Verlegung in das Erdreich erfordert besondere Massnahmen gegen die Aufnahme von Feuchtigkeit.

Die verschiedenen Leitungskonstruktionen, die durch Bleimäntel gegen Feuchtigkeit und chemische Einwirkungen, durch Armierung mit Eisen gegen mechanische Beschädigungen geschützt sind, werden als Kabel bezeichnet.

Man unterscheidet Faserstoff- und Gummikabel. Wir behandeln zunächst die ersteren.

230. Blanke und asphaltierte Einfach-Bleikabel.

In vielen Fällen, wo mechanische Beschädigungen kaum zu erwarten sind, genügt es, wenn eine isolierte Leitung mit einem Bleimantel umpresst wird. Bedingung ist aber dann auch, dass der Verlegungsort keine solchen chemischen Einflüsse mit sich bringt, welche geeignet sind, den Bleimantel zu zerstören. Insbesondere sind dies Alkalien, während sich z. B. in Schwefelsäurefabriken die blanken Bleikabel als einzig günstiges Leitungsmaterial bestens bewährt haben.

Diese Kabel bestehen aus dem Kupferleiter, welcher durch mehrere Lagen von getränktem Faserstoff isoliert und mit einem Bleimantel umpresst ist. Fig. 73 giebt ein solches Kabel wieder.

Aus der Tabelle No. 57 S. 172 sind die Dimensionen, die Gewichte und die Fabrikationslängen zu entnehmen.



Fig. 73.

Um den Bleimantel gegen chemische Beschädigungen zu schützen, wird derselbe mit einer besonderen Schutzschicht umgeben.


Fig. 74.

Es entsteht hierdurch das asphaltierte Bleikabel, welches als inneren Kern ein wie vorher beschriebenes blankes Bleikabel beherbergt.

Die Siemens-Schuckert-Werke schützen den Bleimantel durch eine zwischen zwei Kompositionsschichten eingebettete Papierumwicklung, eine säurefrei imprägnierte Jutebespinnung und eine stärkere Asphaltschicht.

In Tabelle No. 57 sind die Dimensionen dieses Kabels angegeben. Die Differenzen der beiden Gewichtsangaben ergeben das Gewicht der zum Schutz des Bleimantels aufgebrachten Schichten.

Fig. 74 giebt ein asphaltiertes Bleikabel wieder.

Die Prüfung der blanken und asphaltierten Bleikabel, die in den beschriebenen Ausführungen für 700 Volt bestimmt sind, erfolgt mit 1200 Volt Wechselstrom.

Tabelle No. 57.

Einfachkabel für 700 Volt. (Dimensionen und Gewichte.)

Kupferquerschnitt	Blanke Bleikabel		Asphaltierte Bleikabel		Fabrikationslänge
	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	
mm²	mm	kg	mm	kg	
1 massiv	7	270	12	350	1000
1·5 „	7	285	12	370	1000
2·5 „	8	310	13	400	1000
4 „	8	350	13	450	1000
6 „	9	400	14	500	1000
10 „	10	510	15	620	1000
16 „	12	720	17	850	1000
25 litzenförmig	14	970	19	1 130	1000
35 „	15	1 130	21	1 290	1000
50 „	17	1 430	22	1 670	1000
70 „	19	1 800	25	2 070	1000
95 „	21	2 200	27	2 500	900
120 „	23	2 670	29	2 970	800
150 „	24	3 140	30	3 460	700
185 „	27	3 680	33	4 030	600
240 „	30	4 580	36	4 970	500
310 „	33	5 500	39	5 900	400
400 „	36	6 750	42	7 200	300
500 „	41	8 400	47	8 900	250
625 „	44	10 100	50	10 700	225
800 „	49	12 500	55	13 200	175
1000 „	53	15 200	60	15 900	150

Einfachkabel mit Eisenarmatur für Spannungen bis 700 Volt.

231. Verwendung und Konstruktion.

Überall wo die Kabel mechanischen Beschädigungen ausgesetzt sind, werden armierte Kabel verwendet. Die mechanische Beanspruchung ist jedoch verschieden, je nachdem das Kabel ruhig in der Erde liegt oder z. B. in senkrechte Schächte eingehangen wird.

Für den ersteren Fall sind vom Verband Deutscher Elektrotechniker Normalien herausgegeben worden, denen alle Daten entnommen werden können. Fig. 75 zeigt den Querschnitt eines solchen Kabels.



Fig. 75.



Fig. 76.

Die Querschnitte unter 16 mm² sind nicht normalisiert. Sie werden häufig nicht mit Eisenband, sondern mit Draht armiert (Fig. 76). In diesem Falle können dieselben auch als Grubenkabel Verwendung finden.

Tabelle No. 58.

Normalien für einfache Gleichstromkabel mit und ohne Prüfdraht bis 700 Volt.

232. Normalien.

Nach den gemeinsamen Beschlüssen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und der Vereinigung der Elektrizitätswerke.

Toleranz 5% für sämtliche Dimensionen mit Ausnahme der Länge, der Isolationsstärke und des im Leitungswiderstande oder der Leitungsfähigkeit ausgedrückten Querschnittes.

Effektiver Kupferquerschnitt	Zahl der Drähte, Kabel ohne Prüfdraht, Minimalzahl	Zahl der Drähte, Kabel mit Prüfdraht, Minimalzahl	Durchmesser eines jeden Drahtes bei Kabel mit Prüfdraht	Prüfdraht: Querschnitt der Kupferseele mm²	Isolierhülle Konstruktion	Isolierhülle Dicke: Minimaldicke, Toleranz 0·25 mm	Bleimantel einfacher Gesamtdicke	Bleimantel doppelter Gesamtdicke	Bespinnung des Bleimantels Konstruktion	Bespinnung des Bleimantels Dicke	Blechstärke der Armierung	Dicke der Bewickelung des armierten Kabels ca. mm	Äusserer Durchmesser des fertigen Kabels ohne Prüfdraht	Äusserer Durchmesser des fertigen Kabels mit Prüfdraht	Maximal-Prüfungsspannung
16	7	3	2·60	1	Imprägnierte Faserisolation	2·0	1·5	2 × 0·9	Säurefreie imprägnierte Jute	2·0	2 × 0·5	2·0	23	24	1200 Volt Wechselstrom
25	7	6	2·30			2·0	1·5	2 × 0·9		2·0	2 × 0·5	2·0	24	25	
35	7	6	2·73			2·0	1·6	2 × 0·9		2·0	2 × 0·8	2·0	25	26	
50	19	6	3·26			2·0	1·6	2 × 1·0		2·0	2 × 0·8	2·0	29	30	
70	19	13	2·60			2·0	1·7	2 × 1·0		2·0	2 × 0·8	2·0	31	32	
95	19	13	3·10			2·0	1·7	2 × 1·0		2·0	2 × 0·8	2·0	32	33	
120	19	13	3·42			2·0	1·8	2 × 1·1		2·0	2 × 1·0	2·0	35	36	
150	19	18	3·26			$2^1/_4$	1·9	2 × 1·1		2·0	2 × 1·0	2·0	37	38	
185	37	26	3·00			$2^1/_4$	2·0	2 × 1·1		2·5	2 × 1·0	2·0	40	41	
240	37	29	3·25			$2^1/_2$	2·1	2 × 1·2		2·5	2 × 1·0	2·0	43	44	
310	37	36	3·31			$2^1/_2$	2·2	2 × 1·2		2·5	2 × 1·0	2·0	46	47	
400	37	36	3·76			$2^1/_2$	2·3	2 × 1·2		2·5	2 × 1·0	2·0	49	50	
500	37	36	4·20			$2^3/_4$	2·4	2 × 1·3		3·0	2 × 1·0	2·0	54	55	
625	37	36	4·70			$2^3/_4$	2·6	2 × 1·3		3·0	2 × 1·0	2·0	58	59	
800	37	36	5·32			3·0	2·8	2 × 1·4		3·0	2 × 1·0	2·0	63	64	
1000	37	36	5·95			3·0	3·0	2 × 1·5		3·0	2 × 1·0	2·0	67	68	

Der Isolationswiderstand der Kabel soll bei Abnahme im Werk mindestens 500 Megohm pro km bei einer Temperatur von 15° C. betragen. Die Isolationsmessung bei Abnahme in der Fabrik soll auf Verlangen des Abnehmers mit 700 Volt vorgenommen werden. Auf Verlangen des Fabrikanten müssen hierbei die Oberflächenströme abgefangen werden.

Konzentrische und verseilte Mehrfachkabel.

233. Allgemeines.

Um ökonomischer zu verfahren, werden mehrere Leiter in einem und demselben Kabel derart untergebracht, dass sie von demselben Bleimantel und derselben Armatur umschlossen werden. Wenn auch der Durchmesser des Kabels hierdurch etwas grösser wird, so ergiebt sich doch gegenüber Einfachkabeln eine beträchtliche Ersparnis.

Für Wechselstromanlagen können, wenn armierte Kabel verwendet werden sollen, sowieso nur derartige Kabel in Frage kommen, um die Fernwirkung des Wechselstromes zu vermeiden.

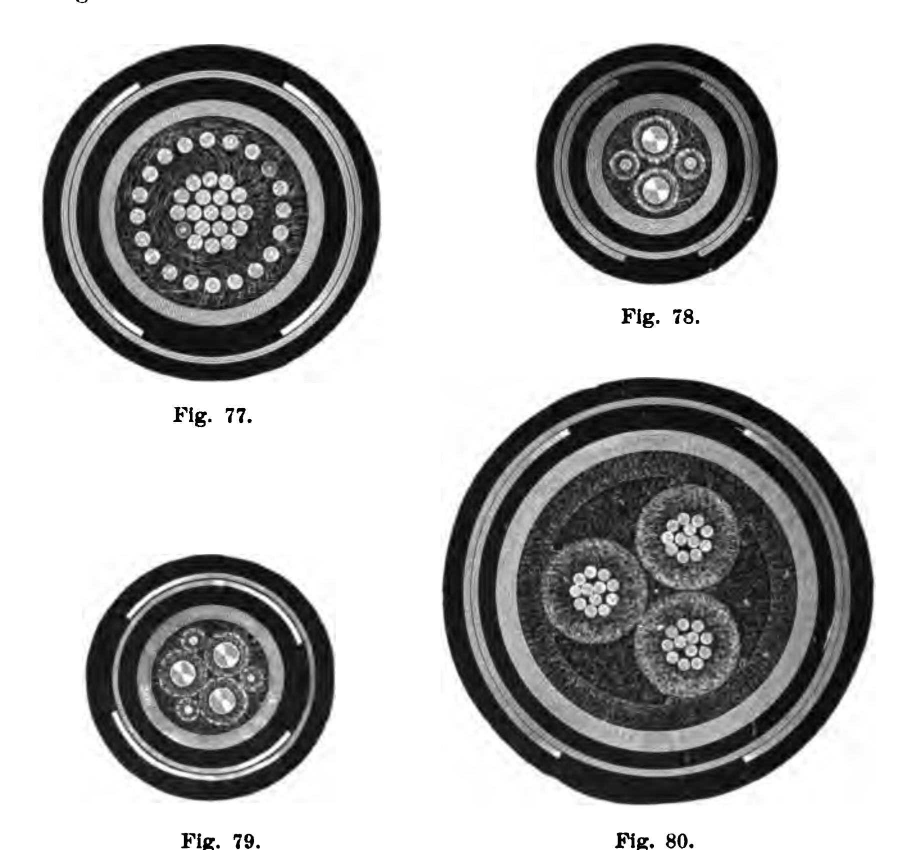


Fig. 77. Fig. 78. Fig. 79. Fig. 80.

Die Anordnung der Leiter erfolgt in zwei verschiedenen Arten; entweder werden sie konzentrisch übereinander angeordnet oder sie werden miteinander verseilt. Die Stärke der Isoliermaterialien wird stets so gewählt, dass sowohl die Schichten zwischen Leiter und Leiter als auch zwischen Leiter und Erde derselben Spannung zu widerstehen vermögen.

234. Konzentrische und bikonzentrische Kabel.

Konzentrische und bikonzentrische Kabel sind nur für Spannungen bis 3000 Volt zulässig; es ergiebt sich dies aus dem allgemeinen Bestreben, in Wechselstromnetzen möglichst Symmetrie zu bewahren, und dies ist bei der Verwendung von verseilten Kabeln eher der Fall als bei konzentrischen. Es ist ferner von Bedeutung, dass bei der Verwendung von konzentrischen Kabeln die unangenehmsten Erscheinungen aufgetreten sind, die vielfach zum Austausch der konzentrischen Kabel gegen verseilte führten.

Andererseits wird dem konzentrischen Kabel der Charakter eines Sicherheitskabels zugesprochen, da bei Beschädigungen (z. B. Anhauen des Kabels) Aussen- und Innenleiter gleichzeitig beschädigt werden sollen, wodurch ein Kurzschluss erfolgt, der die vorgeschaltete Sicherung abschmilzt. Erfahrungen zeigen aber doch, dass dies nicht immer der Fall ist.

Konzentrische Kabel zeigen in der Regel den folgenden Aufbau: Der Innenleiter ist von einer Isolierschicht umgeben, auf welcher der Aussenleiter derart angeordnet ist, dass die einzelnen Drähte eine möglichst geschlossene Schicht ergeben. Hieranf folgt wiederum eine Isolierschicht, die vom Bleimantel umgeben ist.

Fig. 77 zeigt ein derartiges Kabel.

235. Verseilte Kabel. Bei diesen Kabeln werden Leiter verwendet, welche zunächst jeder für sich, der Spannung entsprechend, isoliert ist. Beide werden miteinander verseilt und dann gemeinsam mit einer Isolierschicht umgeben. Um jedoch eine runde Leitung zu erhalten, müssen Jutefäden als Füllmaterial beilaufen. Es werden daher, um Material zu sparen, Kabel mit verschiedenen Leiterformen ausgeführt.

Wie aus Tabellen No. 61—63 hervorgeht, erhalten die verseilten Kabel bei gleichem Querschnitt grösseren Durchmesser als konzentrische und sind infolgedessen auch schwerer.

Ein verseiltes Zweileiterkabel für 700 Volt zeigt Fig. 78, ein Dreifachkabel für die gleiche Spannung Fig. 79 und ein verseiltes Dreifachkabel für 3 × 5000 Volt Fig. 80.

Normalien für konzentrische, bikonzentrische und verseilte Mehrleiterkabel mit und ohne Prüfdraht.

(Toleranz 5 % für sämtliche Dimensionen mit Ausnahme der Länge, der Isolationsstärke und der im Leitungswiderstand oder der Leitungsfähigkeit ausgedrückten Querschnitte.)

236. Normalien. Die Drähte der Aussenleiter bei konzentrischen und bikonzentrischen Kabeln sind derart zu wählen, dass dieselben einen möglichst geschlossenen Leiter bilden. Schwächer als 0·8 mm Durchmesser dürfen die Drähte jedoch nicht sein.

Konzentrische und bikonzentrische Kabel sind nur für Spannungen bis 3000 Volt zulässig.

Die Prüfspannungen der Kabel werden wie folgt festgesetzt:

Die Spannung bei der Prüfung in der Fabrik soll das Doppelte, jene bei der Prüfung nach fertiger Verlegung das 1·25 fache der Betriebsspannung betragen.

Den Bedingungen ist genügt, wenn die Kabel in der Fabrik nach einhalbstündiger Spannung und im fertig verlegten Netz nach einstündiger Spannung mit den vorgeschriebenen Spannungen in Wechselstrom- bezw. bei den Dreifachkabeln in Drehstromschaltung nicht durchschlagen. Der Isolationswiderstand soll sich nach der Hochspannungsprobe nur soviel verändern, als etwaige Erwärmungen mit sich bringen.

Kupferwiderstand siehe Kupfernormalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker.

Tabelle No. 59.

Kupferquerschnitte der Einzelleiter	Mindestzahl der Drähte			Prüfdrähte	Isolierhülle für Kabel bis 700 Volt	
	des Innenleiters bei konzentrischen Kabeln: Kabel ohne Prüfdrähte	des Innenleiters bei konzentrischen Kabeln: Kabel mit Prüfdrähten	in jedem kreisförmigen Leiter bei den verseilten Kabeln	Querschnitt der Kupferseele	Konstruktion	Mindeststärke zwischen den Leitern und zwischen Leiter und Blei (Toleranz 0·25 mm)
mm²				mm²		mm
1·0	—	—	1			2·3
1·5	—	—	1			2·3
2·5	—	—	1			2·3
4·0	—	—	1			2·3
6·0	—	—	1			2·3
10·0	1	—	1			2·3
16·0	1	—	7			2·3
25·0	7	6	7			2·3
35·0	7	6	7			2·3
50·0	19	6	19	1	Imprägnierte Papier- oder Faserisolation	2·3
70·0	19	13	19			2·3
95·0	19	13	19			2·3
120·0	19	13	19			2·3
150·0	19	18	37			2·3
185·0	37	26	37			2·5
240·0	37	29	37			2·5
310·0	37	36	61			2·8
400·0	37	36	—			2·8

Der Isolationswiderstand soll mindestens 500 Megohm pro Kilometer bei 15° C. betragen und ist so zu verstehen, wenn ein Leiter gegen die anderen und Bleimantel bezw. Erde gemessen wird. Messungen bei anderer Temperatur als 15° C. und Umrechnungen auf 15° C. sind zulässig, solange die umzurechnenden Werte zwischen dem 0·5- bis 2fachen der normalen Werte liegen. — Die Isolationsmessung bei Abnahme in der Fabrik soll auf Verlangen des Abnehmers mit 700 Volt vorgenommen werden. Auf Verlangen des Fabrikanten müssen hierbei die Oberflächenströme abgefangen werden.

Die Stärken der Isolationsschichten zwischen den Leitern unter sich und zwischen den Leitern und Blei werden bei den Kabeln höherer Spannungen, also über 700 Volt, dem Ermessen des Fabrikanten überlassen. Keinesfalls dürfen die Stärken geringer sein, als für die Kabel für 700 Volt festgelegt ist.

Die Stärken der Bleimäntel und der Eisenbandarmierung richten sich nach Tabelle No. 60.

Die Bespinnung der Armierung muss derart ausgeführt werden, dass eine gute Deckung vorhanden ist.

Tabelle No. 60.

Die Stärken der Bleimäntel und der Eisenbandarmierung.

Durchmesser der Kabelseele unter dem Bleimantel	Bleimantel		Bespinnung des Bleimantels	Blechstärke der Armierung	Durchmesser der Kabelseele unter dem Bleimantel	Bleimantel		Bespinnung des Bleimantels	Blechstärke der Armierung
	einfach	doppelt				einfach	doppelt		
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	1·5	2 × 0·9	2·0	2 × 0·8	38	2·6	2 × 1·3	3·0	2 × 1·0
12	1·6	2 × 0·9	2·0	2 × 0·8	41	2·7	2 × 1·4	3·0	2 × 1·0
14	1·7	2 × 1·0	2·0	2 × 0·8	44	2·8	2 × 1·4	3·0	2 × 1·0
16	1·7	2 × 1·1	2·0	2 × 0·8	47	3·0	2 × 1·5	3·0	2 × 1·0
18	1·8	2 × 1·1	2·0	2 × 0·8	50	3·2	2 × 1·6	3·0	2 × 1·0
20	1·9	2 × 1·1	2·5	2 × 1·0	54	3·2	2 × 1·6	3·0	2 × 1·0
23	2·0	2 × 1·2	2·5	2 × 1·0	58	3·4	2 × 1·7	3·0	2 × 1·0
26	2·1	2 × 1·2	2·5	2 × 1·0	62	3·4	2 × 1·7	3·0	2 × 1 0
29	2·2	2 × 1·2	2·5	2 × 1·0	66	3·6	2 × 1·8	3·0	2 × 1·0
32	2·3	2 × 1·3	2·5	2 × 1·0	70	3·6	2 × 1·8	3·0	2 × 1·0
35	2·4	2 × 1·3	2·5	2 × 1·0					

Die Kabelnormalien der englischen Kabelfabriken.

Im Anschluss an die deutschen Normalien seien noch die englischen aufgeführt:

Tabelle No. 61.

Kabel bis 500 Volt Spannung.

237. Kabel bis 500 Volt.

Prüfung in der Fabrik für:

Papierisolation 2500 Volt für 15 Minuten } Prüfung verlegt und verspleisst
Juteisolation 1500 „ „ 15 „ } 1000 Volt für eine Stunde.

Querschnitt	Einfache Kabel		Konzentrische Kabel			Dreifach konzentrische Kabel				Dreileiterkabel	
	Isolat.-Dicke	Bleidicke	Dicke innere Isolation	Dicke äussere Isolation	Bleidicke	Isolationsdicke Innen	Isolationsdicke Aussen	Isolationsdicke Mitte	Bleidicke	Isolat.-Dicke Leiter/Leiter Leiter/Blei	Bleidicke
mm²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
16	2·0	1·5	2·0	2·0	1·8	2·0	2·0	2·0	2·0	2·3	2·0
32	2·0	1·5	2·0	2·0	2·0	2·0	2·0	2·0	2·3	2·3	2·3
45	2 0	1·8	2·0	2·0	2·0	2·0	2·0	2·0	2·5	2·3	2·5
65	2·3	1·8	2·3	2·3	2·3	2·3	2·3	2·3	2·5	2·5	2·5
80	2·3	1·8	2·3	2·3	2·3	2·3	2·3	2·3	2·8	2·5	2·8
97	2·3	2·0	2·3	2·3	2·5	2·3	2·3	2·3	2·8	2·5	2·8
130	2·3	2·0	2·3	2·3	2·5	2·3	2·3	2·3	3·0	2·5	3·0
160	2·5	2·3	2·5	2·5	2·8	2·5	2·5	2·5	3·3	2·8	3·3
193	2·5	2·3	2·5	2·5	2·8	2·5	2·5	2·5	3·3	2·8	3·3
225	2·5	2·3	2·5	2·5	3·0	2·5	2·5	2·5	3·5	2·8	3·5
257	2·5	2·5	2·5	2·5	3·0	2·5	2·5	2·5	3·5	2·8	3·5
321	2·5	2·5	2·5	2·5	3·3	2·5	2·5	2·5	3·8	2·8	3·8
386	2·8	2·8	2·8	2·8	3·3						
450	2·8	2·8	2·8	2·8	3·5						
484	2·8	2·8	2·8	2·8	3·5						
515	3·0	3·0	3·0	3·0	3·8						
580	3·0	3·0	3·0	3·0	3·8						
645	3·3	3·3	3·3	3·3	3·8						

238. Zweifach konzentrische Kabel für 2000—10000 Volt.

Tabelle No. 62.

Hochgespannte zweifach konzentrische Kabel.

Querschnitt	2000 Volt			3000 Volt			6000 Volt			10000 Volt		
	Isolat.-Dicke innen	Äussere Isolat.-Dicke Aussenleiter Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke innen	Äussere Isolat.-Dicke Aussenleiter Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke innen	Äussere Isolat.-Dicke Aussenleiter Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke innen	Äussere Isolat.-Dicke Aussenleiter Erde	Bleidicke
mm²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2 × 16	3·0	2·0	2·0	3·8	2·3	2·3	5·8	2·5	2·5	8·9	3·0	3·0
2 × 32	3·0	2·0	2·3	3·8	2·3	2·5	5·8	2·5	2·8	8·9	3·0	3·3
2 × 45	3·0	2·0	2·3	3·8	2·3	2·5	5·8	2·5	3·0	8·9	3·0	3·6
2 × 65	3·3	2·3	2·5	4·0	2·5	2·5	6·1	2·8	3·0	9·2	3·0	3·6
2 × 80	3·3	2·3	2·5	4·0	2·5	2·8	6·1	2·8	3·3	9·2	3·0	3·6
2 × 97	3·3	2·3	2·8	4·0	2·8	2·8	6·1	3·0	3·3	9·2	3·0	3·8
2 × 130	3·3	2·3	2·8	4·0	2·8	3·0	6·1	3·0	3·3	9·2	3·0	3·8
2 × 160	3·6	2·5	3·0	4·3	2·8	3·4	6·3	3·0	3·6	9·4	3·0	4·1

239. Verseilte Dreileiterkabel von 2000—10000 Volt.

Tabelle No. 63.

Hochgespannte Dreileiterkabel (verseilt).

Querschnitt	2000 Volt			3000 Volt			6000 Volt			10000 Volt		
	Isolat.-Dicke Leiter/Leiter u. Leiter/Blei	Isolat.-Dicke Leiter/Blei Sternschaltung Neutralp. Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke Leiter/Leiter u. Leiter/Blei	Isolat.-Dicke Leiter/Blei Sternschaltung Neutralp. Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke Leiter/Leiter u. Leiter/Blei	Isolat.-Dicke Leiter/Blei Sternschaltung Neutralp. Erde	Bleidicke	Isolat.-Dicke Leiter/Leiter u. Leiter/Blei	Isolat.-Dicke Leiter/Blei Sternschaltung Neutralp. Erde	Bleidicke
mm²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
16	3·3	2·5	2·0	3·8	3·0	2·3	5·8	4·3	2·5	8·9	5·8	3·0
32	3·3	2·5	2·3	3·8	3·0	2·5	5·8	4·3	2·8	8·9	5·8	3·3
45	3·3	2·5	2·5	3·8	3·0	2·5	5·8	4·3	3·0	8·9	5·8	3·3
65	3·6	2·8	2·8	4·0	3·3	2·8	6·1	4·6	3·0	9·2	6·1	3·6
80	3·6	2·8	2·8	4·0	3·3	3·0	6·1	4·6	3·3	9·2	6·1	3·6
97	3·6	2·8	3·0	4·0	3·3	3·0	6·1	4·6	3·3	9·2	6·1	3·8
130	3·6	2·8	3·3	4·0	3·3	3·3	6·1	4·6	3·6	9·2	6·1	4·1
160	3·8	3·0	3·3	4·3	3·6	3·6	6·4	4·8	3·8	9·4	6·4	4·3

Tabelle No. 64.

Spannungsprüfung für hochgespannte Kabel.

Betriebsspannung	in der Fabrik	verlegt und gespleisst
2000 Volt	10000 Volt für 15 Min.	4000 Volt für 1 Stunde
3000 „	12000 „ „ 15 „	6000 „ „ 1 „
6000 „	20000 „ „ 15 „	12000 „ „ 1 „
10000 „	30000 „ „ 15 „	20000 „ „ 1 „

Isolation und Bleimantel.

240. Dimensionen der Isolierung und des Panzers.

Die Isolationsdicken, wie in den Tabellen festgesetzt, dürfen angewendet werden für Spannungen bis 10 % über den Normalien.

Die Dicke der Isolation und des Bleies, einerlei ob für Leitungskabel oder für Prüfdrähte, für Kabel unter 16 mm² sind dieselben, wie für Kabel von 16 mm².

Alle nicht angeführten Querschnitte müssen nach dem in der Tabelle angegebenen nächstgrösseren Querschnitt dimensioniert werden.

Die Toleranz für die Dicken der Isolation und des Bleimantels an verschiedenen Punkten beträgt 10 % der Werte der Tabelle, aber der Mittelwert soll die vorgeschriebene Zahl erreichen.

Vorschriften für den Panzer.

1. Für Kabel unter 1/2″ = 12·5 mm Durchmesser über Blei, verzinkter Eisendraht von 0·072″ = 1·82 mm ∅.
2. Für Kabel von 1/2—3/4″ oder 12—19 mm ∅ über Blei, zwei Lagen asphaltiertes Stahlband, jedes 0·03″ = 0·75 mm dick.
3. Für Kabel von 3/4—2″ oder 19—50 mm ∅ über Blei, zwei Lagen asphaltiertes Stahlband, 0·04″ = 1·0 mm dick.
4. Für Kabel über 2″ = 5 mm ∅ über Blei, zwei Lagen asphaltiertes Stahlband, 0·06″ = 1·5 mm dick.

Die normalen Jutedicken betragen:

1. Für Kabel unter 1/2″ = 12 mm ∅ über Blei . . 0·06″ = 1·5 mm.
2. Für Kabel mit mehr als 12 mm ∅ über Blei . . 0·1″ = 2·5 „

Dimensionen und Gewichte konzentrischer und verseilter Mehrfachkabel.

241. Dimensionen u. Gewichte von Bleikabeln.

Tabelle No. 65.

Konzentrische Zwei- und Dreifachkabel für 700 Volt.[1]

Querschnitt	Blanke Bleikabel				Asphaltierte Bleikabel				Asphaltierte Bleikabel mit Eisenbandarmatur			
Zweifachkabel 2 Mal / Dreifachkabel 3 Mal	Zweifachkabel		Dreifachkabel		Zweifachkabel		Dreifachkabel		Zweifachkabel		Dreifachkabel	
	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m
10 massiv	18	1380	25	2360	24	1650	31	2690	30	2420	38	3940
16 „	19	1570	26	2630	25	1850	32	2970	31	2660	39	4250
25 litzenf.	23	2170	30	3320	29	2500	36	3700	36	3620	43	5100
35 „	24	2500	32	3900	30	2820	38	4300	37	4030	45	5800
50 „	26	3100	35	4730	32	3400	41	5200	39	4700	48	6900
70 „	29	3800	39	5800	35	4200	44	6300	42	5600	52	8100
95 „	32	4600	41	7000	38	5000	47	7600	45	6500	55	9600
120 „	34	5400	45	8300	40	5900	51	8900	48	7600	59	10900
150 „	36	6200	47	9500	42	6600	53	10100	50	8400	61	12300
185 „	41	7600	52	11300	47	8200	58	12000	55	10100	66	14400
240 „	45	9200	57	13800	52	9800	64	14600	60	12000	72	17300
310 „	50	11300	64	17200	56	12000	70	18100	64	14300	78	21000
400 „	54	13900	—	—	60	14600	—	—	69	17200	—	—
500 „	58	16500	—	—	65	17300	—	—	73	20100	—	—

1) Diese Dimensionen sind mit geringen Abweichungen für die meisten Firmen zutreffend, da diese Kabel genau nach den Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausgeführt werden.

Tabelle No. 66.

Verseilte Zwei- und Dreifachkabel für 700 Volt.

Querschnitt	Blanke Bleikabel				Asphaltierte Bleikabel				Asphaltierte Bleikabel mit Eisenbandarmatur			
Zweifachkabel 2 Mal / Dreifachkabel 3 Mal	Zweifachkabel		Dreifachkabel		Zweifachkabel		Dreifachkabel		Zweifachkabel		Dreifachkabel	
	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m	Äusserer Durchmesser	Gewicht von 1000 m
1 massiv	12	630	13	660	17	760	18	800	24	1370	24	1210
1·5 „	13	670	13	760	18	810	18	910	25	1430	25	1550
2·5 „	14	790	14	860	19	950	19	1020	26	1600	27	1710
4 „	15	890	15	1030	20	1050	20	1200	27	1750	28	1940
6 „	16	1060	17	1170	21	1230	22	1350	28	1960	29	2120
10 „	17	1260	19	1480	23	1520	25	1750	29	2250	31	2530
16 „	19	1550	21	1800	26	1830	27	2100	31	2650	34	3000
16 litzenf.	21	1770	22	2090	27	2070	29	2400	33	2950	35	3520
25 „	24	2250	25	2670	30	2560	32	3000	37	3730	38	4240
35 „	26	2780	28	3300	32	3100	35	3670	39	4400	41	5010
50 „	30	3400	32	4180	36	3800	38	4600	43	5200	45	6070
70 „	33	4300	35	5200	39	4750	42	5700	46	6300	49	7400
95 „	37	5350	39	6500	43	5800	46	7000	51	7600	54	8900
120 „	41	6550	43	7800	47	7100	50	8400	55	9000	57	10400
150 „	44	7700	47	9500	51	8300	54	10100	59	10400	62	12300
185 „	49	9300	52	11400	55	9900	59	12200	64	12200	67	14600
240 „	54	11400	57	14100	60	12200	64	14900	69	14700	72	17600
310 „	61	14400	65	17800	68	15200	72	18800	76	18100	81	21800

Kabel verschiedener Konstruktion.

242. Gummikabel.[3])

Für viele Zwecke, insbesondere für die Verlegung in Bergwerken, sind Gummikabel vorzüglich verwendbar. Da der Gummi fest auf dem Leiter sitzt, ein Eindringen von Feuchtigkeit also nicht zu befürchten ist, erübrigt sich ein Bleimantel. Er kann aber angewendet werden, wenn irgend welche chemischen Einflüsse vorhanden sind, denen Blei besser widersteht als Gummi. Erwähnenswert ist noch, dass der wasserdichte Abschluss an den Endverschlüssen bei Gummikabeln, wie er bei Faserstoffisolierung üblich ist, nicht erforderlich ist. Im übrigen gilt hier dasselbe, was bereits bei der Besprechung der Gummiaderleitungen gesagt ist.

Tabelle No. 67 giebt die Dimensionen einiger Gummikabel der Kabelwerke von Dr. Cassierer & Co. an.

243. Konzentrische Kabel mit keilförmigem Leiter.

Felten & Guilleaume[1]) haben konzentrische Kabel, um soviel wie möglich an Platz zu sparen, so ausgebildet wie Fig. 81 zeigt.[2]) Dieselben sind als Hauptspeisekabel in Frankfurt und Nürnberg verwendet worden. Bei diesen ist der innere Leiter aus Keildrähten gebildet, die sich entweder um einen zentralen runden



Fig. 81.

1) Kabel der süddeutschen Kabelwerke, A.-G. Mannheim, werden beschrieben E. A. 1903, S. 3017 u. f.

2) E. A. 1903, S. 2788.

3) Vgl. auch S. 186.

Tabelle No. 67.

Durchmesser[1]) von dreifach verseilten Gummikabeln von Dr. Cassierer & Co., Berlin.

Spannung =	Asphaltiert 1000	Eisenband armiert 1000	Eisendraht armiert 1000	Asphaltiert 3000	Eisenband armiert 3000	Asphaltiert 6000	Eisenband armiert 6000	Asphaltiert 10000	Eisenband armiert 10000 Volt
Querschnitt mm²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3 × 10	23	31	30	30	38	35	43	42	50
3 × 16	25	33	32	33	41	37	45	44	52
3 × 25	29	36	36	36	44	40	48	47	55
3 × 35	32	39	39	38	46	43	51	50	58
3 × 50	36	43	43	42	50	46	54	53	61
3 × 70	39	47	47	45	53	50	58	—	—
3 × 95	44	51	51	49	57	54	62	—	—
3 × 120	47	55	55	53	61	—	—	—	—
3 × 150	51	59	59	56	64	—	—	—	—

Tabelle No. 68.

Konzentrische Kabel mit keilförmigem Leiter für eine Spannung von 2500 Volt.

Querschnitt	mm²	2 × 35	2 × 50	2 × 70	2 × 95	2 × 150	2 × 240
Durchmesser des inneren Leiters	mm	6·7	8·4	10·4	11·5	14·5	20·1
Anzahl u. Stärke der Drähte	„	4 × 3·35	6 × 4·2 × 4	$6\times{}^{5.0}_{4.7}$	$8\times{}^{4.3}_{5.5}$	$4.4+8\times{}^{5.1}_{1.64}\,5.0$	19 × 4·01
Durchmesser über Isolierung	„	15·7	17·4	19·4	20·5	23·4	29·1
„ „ äusserem Leiter	„	17·2	19·3	21·8	23·6	27·7	35·5
Anzahl u. Stärke der Drähte des äusseren Leiters	„	$22\times{}^{2.2}_{2.0}\times0.76$	$22\times{}^{2.5}_{2.2}\times0.97$	$22\times{}^{2.8}_{2.5}\times1.2$	$22\times{}^{3.0}_{2.6}\times1.55$	$18\times{}^{4.2}_{3.6}\times2.14$	30 × 3·19
Durchmesser über zweiter Isolierung	„	26·2	28·3	30·8	32·6	36·7	44·5
Durchmesser über Bleimänteln	„	31·4	33·5	36·4	38·2	42·7	50·9
Durchmesser über Compound	„	36·4	38·5	41·4	43·2	47·7	55·9
„ „ Bandeisen	„	39·0	41·1	44	45·8	50·3	58·5
„ „ Compound fertiges Kabel	„	45·4	47·5	51·6	53·4	57·9	66·1

Draht lagern, wie Abbildung zeigt, oder die in der Mitte zusammenstossen. Der äussere Leiter besteht aus Flachkupfer; die Isolierung aus imprägniertem Papier. Zwischen Compoundschichten liegt ein doppelter Bleimantel. Die Dimensionen dieser Kabel giebt Tabelle No. 68 an (op. cit.).

Ein konzentrisches Kabel eigenartiger Konstruktion zeigt Fig. 82. Der innere Leiter ist aus Profildrähten zusammengesetzt, die im Innern des Kabels einen Hohlraum frei lassen. Diese Anordnung ist getroffen, um den durch den Ferranti-Effekt bedingten Energieverlust[2]) zu vermeiden.

1) Die Gewichte und Fabrikationslängen dieser Kabel sind angegeben. E. A. 1904, S. 59.
2) Schmidt, E. A. 1903, No. 90.

244. Kabel mit mehreren Bleimänteln.

Die süddeutschen Kabelwerke geben ihren konzentrischen Kabeln häufig mehr als einen Bleimantel.[1]) Der isolierte Innenleiter wird mit einem Bleimantel umpresst und auf diesen eine Anzahl Kupferdrähte spiralförmig als äusserer Leiter aufgewickelt. In diesem Stadium der Fabrikation folgt eine weitere Isolierung, worauf noch ein doppelter Bleimantel folgt. Diese Konstruktion wurde von Berthoud Borel angegeben, um zwischen den beiden Leitern eine glatte Fläche zu erhalten, welche das Überspringen von Funken ausschliessen soll.

Eine andere Konstruktion von mehrfach konzentrischen Kabeln mit einem Bleimantel zwischen je zwei Leitern zeigt Fig. 83.

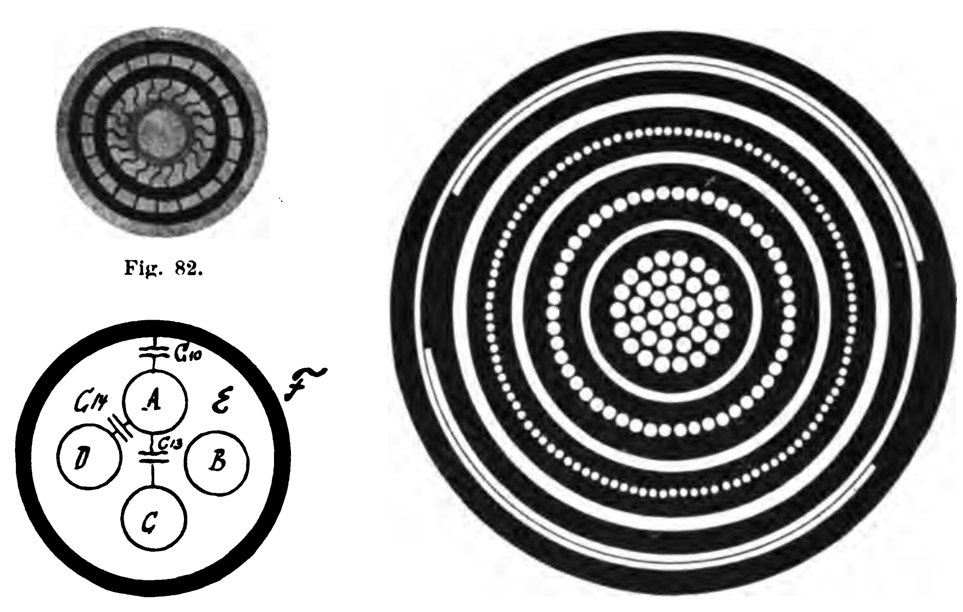


Fig. 82.

Fig. 84.

Fig. 83.

245. Vierfach verseilte Eisenphasenkabel von Felten & Guilleaume.[3])

Es werden vier isolierte Leiter miteinander verseilt und dann in der üblichen Weise mit einem Bleimantel umgeben und armiert.

Die Verwendung von vier Leitern ergiebt gewisse Schaltungsmöglichkeiten. In einphasigen Wechselstromanlagen können entweder die beiden nebeneinanderliegenden oder die beiden gegenüberliegenden zusammengeschaltet werden. Hierdurch ist es möglich, in einem gewissen Spielraum Kapazität und Selbstinduktion zu ändern.

Schmidt erläutert dieses Kabel wie folgt:[2]) *A, B, C* und *D* sind die vier Kupferleiter (Fig. 84), *E* ist die Isolierung und *F* der Bleimantel. Verbindet man nun je zwei gegenüberliegende Leiter, z. B. *A* mit *C* und *B* mit *D* zu einem Pol, so ist die Kapazität dann gleich

$$C_{10} + 4\,C_{14}.$$

Die Selbstinduktion des Kabels ist gering.

---

1) E. A. 1903, No. 97.

2) Schmidt, E. A. 1903, S. 2787.

Verbindet man dagegen je zwei nebeneinanderliegende Leiter, z. B. A mit D und B mit C zu einem Pol, so ist die Kapazität gleich

$$C_{10} + 2\ C_{14} + 2\ C_{13}$$

oder gleich

$$C_{10} + 2\ C_{14}\ \frac{2 \text{ log. nat. } \frac{2\delta}{r} + 0{\cdot}346}{\text{log. nat. } \frac{2\delta}{r} + 0{\cdot}346},$$

worin δ die Stärke der Isolierung um den Leiter und r den Radius des Leiters bedeutet.

Die Kapazität ist also kleiner als bei der ersten Schaltung, dagegen ist die Selbstinduktion in diesem Falle grösser.

In Frankfurt und Elberfeld haben Felten & Guilleaume, denen die angegebenen Schaltungen im übrigen patentiert sind, derartige Kabel verlegt, bei denen die erste Schaltung angewendet wurde.

Die erforderlichen Verbindungen wurden nur an den Endverschlüssen vorgenommen, nicht an den Muffen, um die einzelnen Adern bei Prüfungen des Kabels leichter abschalten zu können.

Um bei der Montage eine Verwechslung der einzelnen Leiter zu vermeiden, sind zwei Leiter mit Hanf-Papier-Hanf und zwei mit Hanf-Papier-Band isoliert.

Abbildungen dieses Kabels sind an der zitierten Stelle zu finden.

246. Kabel für Zweiphasenstromanlagen.

Im Zweiphasenstromsystem ist die Konstruktion der Kabel verschieden, je nachdem es sich um ein verkettetes oder unverkettetes System handelt.

Das unverkettete System bedingt verschiedene Querschnitte der Leiter; zwei derselben sind gleich, der dritte hat den $\sqrt{2}$fachen Querschnitt. Es sind zwei Anordnungen üblich.

Alle drei Leiter werden miteinander verseilt, wobei, um im Aufbau des Kabels möglichste Gleichmässigkeit zu bewahren, die Isolierschichten der beiden dünneren Leiter so stark gewählt werden, dass ihr äusserer Durchmesser ebenso gross wird, wie der des stärkeren Leiters mit seiner Isolierschicht. Die stärkere Isolierung der beiden dünneren Leiter ist aber sowieso notwendig, da zwischen ihnen die $\sqrt{2}$fache Phasenspannung besteht. Bei der zweiten Anordnung werden die beiden dünneren Leiter miteinander verseilt und der stärkere dritte, nach Zwischenschiebung geeigneter Isolierschichten, konzentrisch herumgelegt.

Ist das Zweiphasensystem verkettet, so können zwei Kabel Verwendung finden, deren jedes zwei meistens verseilte Leiter enthält. Zweckmässiger und bei weitem billiger ist es, wenn alle vier Leiter miteinander verseilt werden, wobei ein gut symmetrisch angeordnetes Kabel entsteht.

Fig. 85 zeigt ein Kabel von Felten & Guilleaume,[1]) welches ebenfalls für Zweiphasenstromanlagen bestimmt ist. Es ist für eine Spannung von 11000 Volt verwendet worden. In dieser Anlage waren immer zwei derartige Kabel zusammengehörig, und zwar bildeten die inneren Leiter derselben die Aussenleiter des Systems, während



Fig. 85.

1) E. A. 1903, S. 2789.

die äusseren Leiter miteinander verbunden den um das $\sqrt{2}$fache stärkeren Mittelleiter bilden. Der letztere wurde über eine Funkenstrecke geerdet. Eine Armatur fehlt.

Flusskabel.

247. Verschiedene Konstruktionen.

Kabel, welche unter Wasser verlegt werden sollen, unterscheiden sich in bezug auf ihre elektrischen Eigenschaften wenig von den anderen Kabeln. Der konstruktive Aufbau ist jedoch ein anderer insofern, als die Eisenarmierung eine bedeutend stärkere ist, wie bereits früher besprochen.

Es sind also auch in dieser besonderen Ausführung Einfachkabel, verseilte Zwei- und Mehrleiterkabel erhältlich. Konzentrische Anordnung der Leiter wird seltener bei Flusskabeln verwendet.

Nach den Dimensionen der Schutzdrähte werden Flusskabel mit leichter und schwerer Armatur unterschieden. Wo die Möglichkeit einer Beschädigung der Flusskabel sehr naheliegend ist, werden zwei Schutzarmaturen angeordnet. Fig. 7 u. 8 geben unter anderem das von den Land- und Seekabelwerken

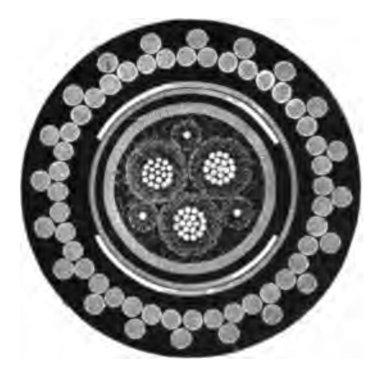




Fig. 86.



Fig. 87.

A.-G. Köln, Nippes, durch den Rhein gelegte, dreifach verseilte Kabel wieder, welches mit einer Armatur aus runden und einer aus flachen Eisendrähten versehen ist. Zum Schutz gegen Rosten werden die Armaturen stark verzinkt.

Fig. 86 zeigt ein verseiltes Dreifach-Flusskabel der SIEMENS-SCHUCKERT-Werke, dessen innere Armatur aus Eisenbändern, dessen äussere aus Litzen besteht, die aus je drei Drähten verseilt sind. Der Querschnitt dieses Kabels beträgt 3×50 mm², es ist für 3×3000 Volt bestimmt.

Vielfach wird statt der runden Armatur dem Profildraht der Vorzug gegeben. So zeigt Fig. 87 ein Flusskabel von FELTEN & GUILLEAUME. Dasselbe hat Papierisolation.

Grubenkabel.

248. Armatur und Bleimantel.

Der Grubenbetrieb stellt an die mechanische Festigkeit der Kabel ganz besondere Anforderungen.

Die in senkrechten Schächten verlegten Kabel müssen beim Einhängen in ihrer ganzen Länge frei hängen, so dass die Armatur kräftig genug sein muss, um das Gewicht des ganzen Kabels tragen zu können.

Die Eisenbandarmierung ist für diesen Zweck ungeeignet und werden Grubenkabel, soweit sie für senkrechte Schächte verwendet werden sollen, ausschliesslich mit verzinkten Eisendrähten armiert.

Zum Schutze gegen saure Grubenwässer werden die Kabel mit einem gegen diese widerstandsfähigen Anstrich, auch wohl mit einem zweiten Bleimantel versehen.

Es kommt noch ein Umstand hinzu, der die Aufmerksamkeit des Erbauers einer Bergwerksanlage erfordert. Dies sind die in vielen Gruben auftretenden Schlagwetter, denen der Verband Deutscher Elektrotechniker auch in seinen Sicherheitsvorschriften § 46 Rechnung trägt.

Es sind hiernach nur Kabel zulässig. Aber von vielen Seiten wird angenommen, dass auch das Kabel nicht immer gegen einen Bruch sicher ist, der einen Unterbrechungsfunken zur notwendigen Folge haben muss. Sind explosible Gase angesammelt, so wird eine Explosion erfolgen.

249. Sicherheitskabel.

Um diesen Gefahren vorzubeugen, welche entstehen können, wenn ein Grubenkabel zerreisst oder zerquetscht wird, sind sogenannte Sicherheitskabel vorgeschlagen worden.[1]

Das älteste derselben ist das von Atkinson. Bei diesem wird für Hin- und Rückleitung je ein besonderes Kabel verwendet, von denen jedes jedoch aus zwei Leitungen besteht, von denen die eine den Betriebsstrom führt, während die andere als Hilfsleitung den Hauptleiter spiralförmig umgiebt und von dem sie gut isoliert ist. In die Hilfsleitung ist ein Relais eingeschaltet, welches den Strom im Hauptleiter unterbricht, wenn aus irgend welcher Ursache der Hauptleiter gerissen oder die Spannung nach dem Hilfsleiter durchgeschlagen ist.

Es ist jedoch nicht anzunehmen, dass durch eine derartige Anordnung die Gefahr vollständig beseitigt und jeder Funke vermieden wird, da zum Unterbrechen ein beträchtliches Anwachsen des Stromes im Hilfsleiter erforderlich ist, weil das Relais nicht zu empfindlich eingestellt sein kann, da es sonst bei jeder Stromschwankung den Ausschaltemechanismus in Thätigkeit setzen würde. Da das Hilfskabel aber am Anfang und Ende an den Hauptleiter angeschlossen ist, so werden solche Stromschwankungen vielfach auftreten können.

Ein weiteres Sicherheitskabel, welches ebenfalls aus einem Hauptleiter und einem Hilfsleiter besteht, ist das von Charlton. Der Unterschied zwischen diesem und dem vorherbeschriebenen besteht aber darin, dass der Hilfsleiter nicht spiralförmig um den Hauptleiter gelegt ist, sondern geradlinig durchgeführt wird. Im Fall eines Zerreissens eines Kabels soll der Hilfsleiter früher brechen als der Hauptleiter. Ein in den Hilfskreis eingeschaltetes Relais veranlasst dann das Ausschalten des Hauptleiters, bevor derselbe reisst.

Schliesslich wird noch im D. R. P. 75283 ein von Hetzler[2]) erfundenes Sicherheitskabel beschrieben, auch haben Felten & Guilleaume eine Konstruktion vorgeschlagen,[3]) bei welcher letzteren das von Charlton mit dem von Atkinson kombiniert wird.

Abgesehen davon, dass es nicht wahrscheinlich ist, dass die vorerwähnten Kabel den Zweck erfüllen, dem sie dienen sollen — man hat sie auch zum Teil gar nicht verwendet —, so haben sie noch den Nachteil, dass sie für Wechselströme nicht verwendet werden können, da Hin- und Rückleitung

1) Erhard, Der elektrische Betrieb im Bergbau, S. 139. Schmidt, E. A. 1903, S. 2025 u. f.

2) Beschrieben und in Abbildungen wiedergegeben: E. A. 1903, S. 2026.

3) Desgl., E. A. 1903, S. 2062.

getrennt geführt werden müssen, bei der üblichen Anordnung von Eisenarmaturen auf dem Kabel aber Hin- und Rückleitung innerhalb derselben Eisenarmatur liegen müssen.

Es werden daher auch solche Sicherheitskabel fast gar nicht verwendet und bei der Konstruktion von Grubenkabeln ganz besonders auf feste Konstruktion Rücksicht genommen, welche eine Beschädigung des Kabels nahezu ausgeschlossen erscheinen lässt.

250. Normale Grubenkabel. Fig. 88 zeigt einige Typen der von den SIEMENS-SCHUCKERT-Werken fabrizierten Grubenkabel. Dimensionen und Gewichte von dreifach ver-

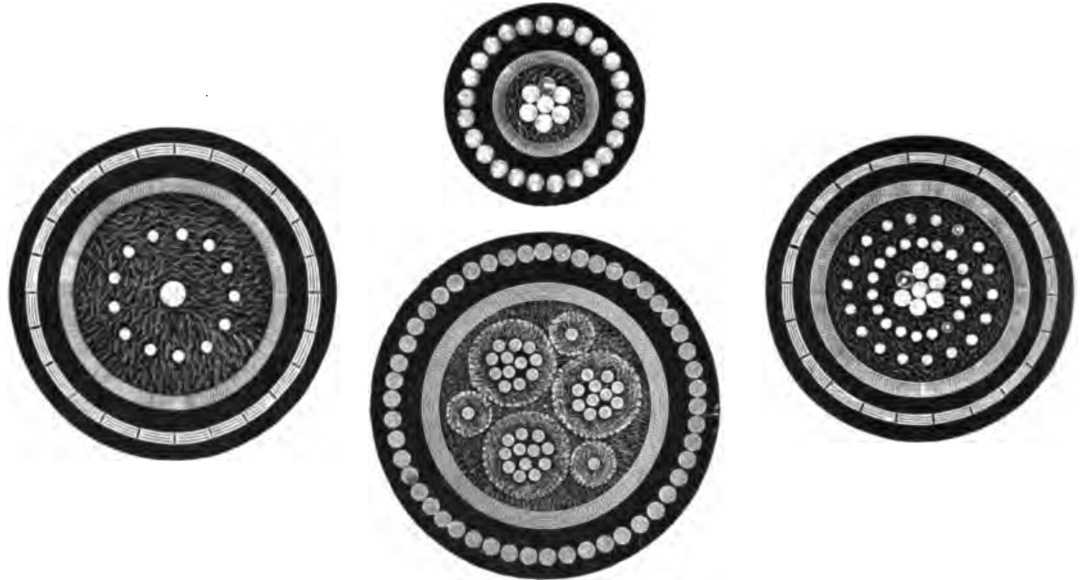


Fig. 88.

seilten Grubenkabeln bei Spannungen von 700 bis 20000 Volt sind z. B. in der Tabelle No. 69 S. 187 angegeben.

Vorstehend abgebildete Kabel haben Faserstoffisolierung.

Vielfach finden gerade im Grubenbetrieb Kabel mit Gummiisolierung Verwendung. Da Gummi nicht in solchem Masse zur Wasseraufnahme neigt, dass die Isolation der Leitungen wesentlich beeinträchtigt würde, so ist ein Bleimantel nicht erforderlich. Da sich die Gummiisolierung auch so dicht an den Leiter anschmiegt, dass Feuchtigkeit von den Enden aus nicht eindringen kann, so sind für diese Kabel an den Endverschlüssen keine abdichtenden Vorrichtungen erforderlich.

Ein Gummikabel von FELTEN & GUILLEAUME [1]) stellt Fig. 89 dar; es besteht aus zwei Leitern, die durch Gummi isoliert, miteinander verseilt und dann mit Jute umsponnen sind. Hierüber ist eine Schutzarmatur gelegt, welche aus 24 einzelnen Litzen besteht. Diese Litzen haben eine Hanfseele, um welche je 12 verzinkte Eisendrähte gelegt sind. Es findet hauptsächlich für Abteufzwecke Verwendung.



Fig. 89.

1) E. A. 1903, S. 2724.

Tabelle No. 69.

Verseilte Dreifach-Schachtkabel der Siemens-Schuckert-Werke.

Für Volt	3×700		3×2000		3×3000		3×5000		3×7000		3×10000		3×12000		3×20000		
Geprüft mit Volt Drehstrom	1400		4000		6000		10000		14000		20000		24000		40000		
Kupfer-quer-schnitt mm²	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Äusserer Durch-messer etwa mm	Gewicht von 1000 m etwa kg	Kupfer-quer-schnitt mm²
								Mit massiven Leitern									
3×1	26	1 860	27	2 200	33	2 950	34	3 230	36	3 500	—	—	—	—	—	—	3×1
3×1·5	26	2 010	29	2 350	33	3 000	34	3 300	36	3 580	—	—	—	—	—	—	3×1·5
3×2·5	27	2 160	29	2 450	34	3 220	34	3 460	38	3 900	—	—	—	—	—	—	3×2·5
3×4	28	2 400	31	2 750	34	3 450	36	3 750	38	4 050	43	4 900	46	5 800	63	9 900	3×4
3×6	29	2 480	31	3 000	36	3 730	38	4 050	39	4 300	44	5 300	48	6 100	63	10 100	3×6
3×10	31	2 900	34	3 420	38	4 150	39	4 500	41	4 800	46	5 700	50	6 700	65	10 900	3×10
3×16	33	3 300	36	3 850	39	4 600	41	4 900	—	—	—	—	—	—	—	—	3×16
								Mit litzenförmigen Leitern									
3×16	34	3 700	38	4 250	41	5 050	44	5 450	44	5 650	48	6 550	54	7 800	69	12 200	3×16
3×25	38	4 470	41	5 100	44	5 900	46	6 200	48	6 600	52	7 600	56	8 700	71	13 000	3×25
3×35	40	5 300	43	5 900	48	6 900	50	7 200	50	7 500	54	8 600	58	9 800	76	14 400	3×35
3×50	44	6 400	46	7 000	52	8 100	52	8 300	54	8 700	59	9 900	63	11 000	78	15 700	3×50
3×70	48	7 650	50	8 300	54	9 400	56	9 700	59	10 200	63	11 500	67	12 500	82	17 500	3×70
3×95	52	9 200	54	9 900	61	11 400	60	11 700	63	12 100	67	13 200	71	14 400	87	19 600	3×95
3×120	56	10 800	59	11 500	65	13 200	65	13 400	67	13 800	71	15 100	73	16 100	92	21 600	3×120
3×150	60	12 700	63	13 500	67	14 800	69	15 300	69	15 600	73	16 900	78	18 000	—	—	3×150
3×185	65	14 900	67	15 700	73	17 300	74	17 600	76	18 100	80	19 600	82	20 500	—	—	3×185
3×240	69	17 900	71	18 500	78	20 300	80	20 800	80	21 200	84	22 900	—	—	—	—	3×240
3×310	78	22 100	80	22 700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3×310

Prüfdraht und Prüfdrahtkabel.

251. Zweck und Konstruktion. Um jederzeit in der Lage zu sein, jedes einzelne Kabel schnell auf seinen Zustand zu untersuchen, werden den Kabeln besondere Leiter beigefügt, die Prüfdrähte.

In Einzelkabeln wird, wie dies aus Fig. 73, 74 und anderen hervorgeht, der Prüfdraht in der Art untergebracht, dass ein Draht der Kupferseele durch einen isolierten Draht ersetzt wird, dessen äusserer Durchmesser ebenso gross ist, wie derjenige der übrigen blanken Drähte. In der gleichen Weise wird beim konzentrischen Kabel verfahren.

Beim verseilten Kabel dagegen ist diese Anordnung wenig gebräuchlich. Bei diesen muss, um eine runde Anordnung des Kabels zu erreichen, sowieso Füllmaterial beilaufen. In dieses werden die Prüfdrähte eingebettet (Fig. 79).

Werden viele Prüfdrähte erforderlich oder handelt es sich um Kabel, welche sehr hochgespannte Ströme führen sollen, so werden die Prüfdrähte in einem besonderen Prüfdrahtkabel vereinigt. Es ist erforderlich in die Prüfleitungen auch Sicherungen einzuschalten.

Lieferungsbedingungen.

252. Übereinkommen englischer Fabriken. Um eine möglichst einheitliche Fabrikation zu erzielen und um möglichst bei allen oder doch wenigstens den meisten Lieferungen von Leitungen und Kabeln gleiche Lieferungsbedingungen zu erzielen, wird die Vereinbarung von allgemein gültigen Lieferungsbedingungen angestrebt, die bezüglich der Erwärmung, der Leitfähigkeit, des Isolationswiderstandes, der Kapazität etc. bestimmte Grundlagen geben sollen. Als ein gewisser Fortschritt in diesem Sinne sind die vom Verband Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Normalien zu betrachten. Diese sind aber nicht so durchgreifend, wie die durch elf der bedeutendsten englischen Kabelwerke aufgestellten Lieferungsbedingungen für die englische Industrie. Diese englischen Kabelwerke schützen sich durch das gegenseitig getroffene Übereinkommen gegen die sehr willkürlichen Bestimmungen und Missstände, die von seiten der Interessenten Platz gegriffen hatten.

Die Übereinkunft soll hauptsächlich eine Basis für die von dem Interessenten zu stellenden Bedingungen bilden: sie erstreckt sich von den aus sieben Drähten bestehenden Normalkabeln mit einem Querschnitt von 32 mm^2 bis auf das aus 127 Drähten bestehende mit einem Querschnitt von 645 mm^2.

Die Lieferung von Kabeln in England dürfte nur unter den im nachfolgenden näher gekennzeichneten Bedingungen zu erreichen sein, da sich diese elf grössten Kabelfabriken gegenseitig verpflichtet haben, Bestellungen nur unter Einhaltung derselben anzunehmen.

1. Die Kabelseele muss den vereinbarten Normalien entsprechen.
2. Fehler werden innerhalb eines Jahres nach der Kabelverlegung beseitigt, wenn der Fabrikant die Kabel verlegt hat und die Fehler durch schlechtes Material oder schlechte Arbeit entstanden sind. Für eine länger zu leistende Garantie ist eine jährliche Abgabe an den Fabrikanten zu leisten. Wird das Kabel von anderer Seite verlegt, läuft die Garantiezeit schon mit dem Beginn der Lieferung ab. Laufende Instandhaltung von Kabeln ist als von der Garantie gesondert zu betrachten und besonders zu vergüten.

3. Wird durch einen Kontrakt die jährliche Lieferung von Kabeln vereinbart, so ist der Fabrikant nicht verpflichtet, mehr als 25 % über den vereinbarten Umfang oder weniger als 25 % unter denselben zu den Normalpreisen zu liefern.
4. Zur Entscheidung von Streitfällen ist in jedem Kontrakt ein Schiedsgericht vorzusehen.
5. Für die Prüfung von verlegten Kabeln muss dem Unternehmer Strom unter Normalspannung unentgeltlich zur Verfügung gestellt werden.

Wahl der Kabel für verschiedene Zwecke.

253. Übersicht über die zu verwendenden Leitungen.

Aus den vorstehenden Zusammenstellungen ist zu ersehen, dass eine genügende Auswahl der verschiedensten Konstruktionen von Leitungen und Kabeln vorhanden ist, so dass man für alle Fälle in der Lage ist, ein einwandfreies und betriebssicheres Material wählen zu können.

In der folgenden Aufstellung ist übersichtlich angegeben, welche Leitungsmaterialien in der Regel und unter normalen Verhältnissen verwendet werden. Allerdings kommt hierbei auch noch die Art der Isolierung durch Porzellanisolatoren etc. mit in Betracht, mit der wir uns noch im weiteren[1]) zu beschäftigen haben werden. Es sind verwendbar:

1. Blanke Leitungen im Freien für jede Spannung; in Innenräumen nur bedingungsweise.
2. Umsponnene Leitungen für Maschinen; im übrigen nur dann, wenn sie behandelt werden wie blanke Leitungen.
3. Gummibandleitungen für feste Verlegung in trockenen Räumen bis 250 Volt.
4. Gummiaderleitung für feste Verlegung bis 1000 Volt, für den Anschluss beweglicher Stromverbraucher bis 500 Volt.
5. Fassungs- und Pendeladern an und in Beleuchtungskörpern bis 250 Volt.
6. Gummiaderleitung für Hochspannung zur festen Verlegung für jede Spannung; zum Anschluss beweglicher Stromverbraucher von 500 bis 1500 Volt.
7. Gummibandschnüre zur festen Verlegung in trockenen Räumen bis 125 Volt.

   Gummiaderschnüre zur festen Verlegung bis 1000 Volt und für den Anschluss beweglicher Stromverbraucher bis 500 Volt.
8. Einfachbleikabel für 700 Volt; Gleichstrom, in Innenräumen und da, wo weder mechanische noch chemische Beschädigungen zu erwarten sind.

   Asphaltierte Bleikabel für 700 Volt; Gleichstrom, wo chemische Angriffe, aber keine mechanischen möglich.

---

1) Hbd. VI, 2.

Armierte Bleikabel normalisiert für 700 Volt Gleichstrom; im Erdreich.

9. Konzentrische Mehrfachkabel bis 3000 Volt zulässig; für Wechselstrom und im Erdreich zulässig.
10. Verseilte Mehrfachkabel für jede Spannung und überall zulässig.
11. Flusskabel; als Einfach- und Mehrfachbleikabel für jede Spannung.
12. Grubenkabel; mit Drahtarmatur für jede Spannung.

Bezüglich der Kabelisolierung sei noch bemerkt, dass für Kabel bis zu etwa 3000 Volt wohl selten andere als mit Faserstoffisolierung verwendet wird; Gummikabel für diese Spannung finden nur selten, höchstens für Grubenbetriebe Verwendung.

Über 3000 Volt kommen beide Isolierungen vor, obwohl vielfach den mit Faserstoff und Papier isolierten Kabeln der Vorzug gegeben wird.

Schalter.

Um den Strom in einer Leitung zu unterbrechen, verschiedene Stromkreise an dieselbe Stromquelle zu legen usw., werden Schalter verwendet, die nach ihrer Konstruktion und ihrem Verwendungszweck eingeteilt werden können in

Installationsschalter und Steckkontakte,
Hebelschalter,
Hochspannungsschalter,
Automatische Schalter und Schalter für spezielle Zwecke,
Zellenschalter.

Allgemeines.

254. Abstände der Kontakte und Länge des Öffnungsfunkens.

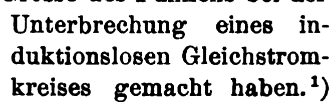
Beim Öffnen von Ausschaltern, welche zur Stromunterbrechung dienen, treten Lichtbogen auf, die mit der Höhe der auszuschaltenden Leistung und Spannung wachsen. Werden diese Schalter langsam geöffnet, oder sind die Entfernungen zwischen den Kontaktstücken zu klein, so kann der Lichtbogen stehen bleiben, der Schalter wird beschädigt oder kann ganz zerstört werden, wobei auch der Stromkreis nicht sicher abgeschaltet wird. Der Lichtbogen wird um so schneller abgerissen, je schneller die Verbindung aufgehoben wird, wenn auch hierdurch die Funkenlänge nicht vermindert wird. Aus diesem Grunde sind für alle Niederspannungsschalter, soweit sie ausserhalb elektrischer Betriebsräume angeordnet werden, Vorrichtungen verlangt,[1]) welche den Stromkreis momentan unterbrechen. Bei Hochspannungsschaltern ist das plötzliche Abschalten nicht erforderlich, mitunter auch nicht wünschenswert oder auch durch das Prinzip des Schalters an sich ausgeschlossen.

Die Hauptbedingung für das sichere Funktionieren ist infolgedessen die, dass ein Stehenbleiben des beim Ausschalten unvermeidlich auftretenden Unterbrechungsfunkens ausgeschlossen ist. Da die Grösse desselben aber von allen möglichen Umständen abhängig ist, so sind auch bei den verschiedenen Schaltertypen ganz verschiedene Entfernungen der Kontakte voneinander zu beobachten.

---

1) § 11 a der Sicherheitsvorschriften des V. D. E.

Alexander Russel und Clifford Patterson haben eine Reihe von Versuchen angestellt, in denen sie Messungen über die Grösse des Funkens bei der Unterbrechung eines induktionslosen Gleichstromkreises gemacht haben.[1])



Die Länge des Unterbrechungsfunkens wurde genau mittels Fernrohr und Skala gemessen, und zwar bei Veränderung:

1. des Stromes, während die Spannung konstant blieb,
2. der Spannung, während der Strom konstant blieb,
3. der Form der Kontakte,
4. der Geschwindigkeit der Unterbrechung,
5. der Zahl der Unterbrechungsstellen im Stromkreise.

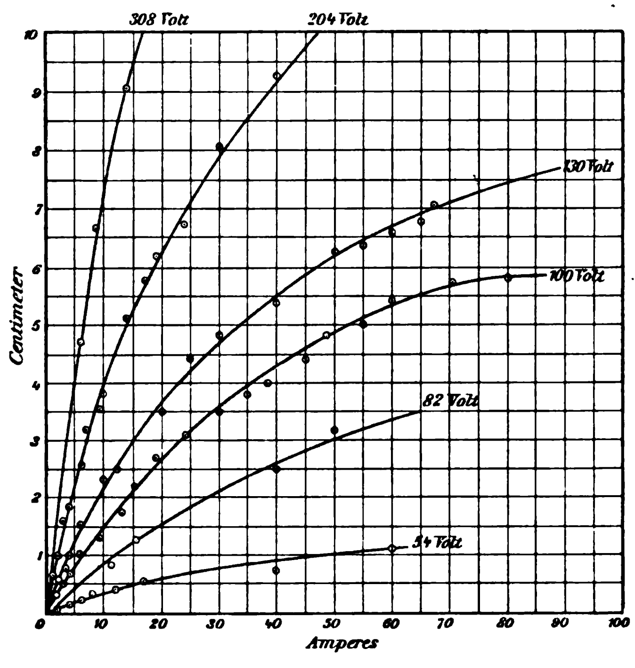


Fig. 90.

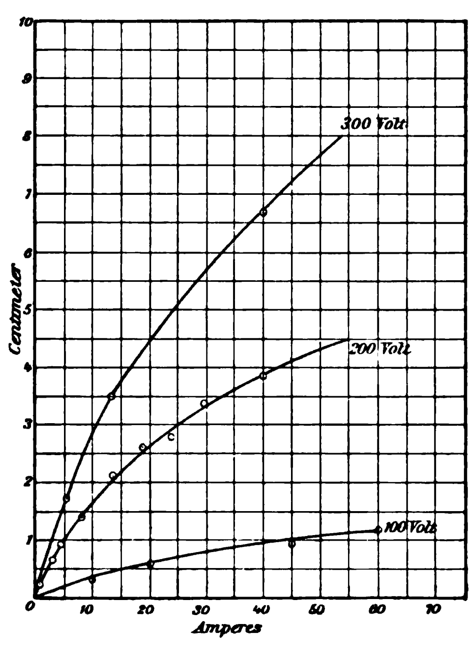


Fig. 90 a.

1. Aus den Kurven Fig. 90 u. 90 a ist das Resultat zu ersehen, wenn bei konstanter Spannung der Strom geändert wird, und zwar einmal bei einmaliger, das andere Mal bei doppelter Unterbrechung. Die Länge des Unterbrechungsfunkens nimmt bei kleineren Stromstärken proportional mit dem Strom zu, bei grösseren Stromstärken dagegen langsam ab. Beim Vergleich zwischen den Kurven Fig. 90 u. 90 a ersieht man, dass die doppelte Unterbrechung etwa die Wirkung hat, als wenn die Spannung auf die Hälfte reduziert wird. Es kann daher auch angenommen werden, dass die Kurven von Fig. 90 die Länge der Unterbrechungsfunken zeigen, welche bei doppelter Unterbrechung und Spannungen von 100 bis 600 Volt, also dem Doppelten der eingetragenen Werte, auftreten.

---

1) Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 1902.

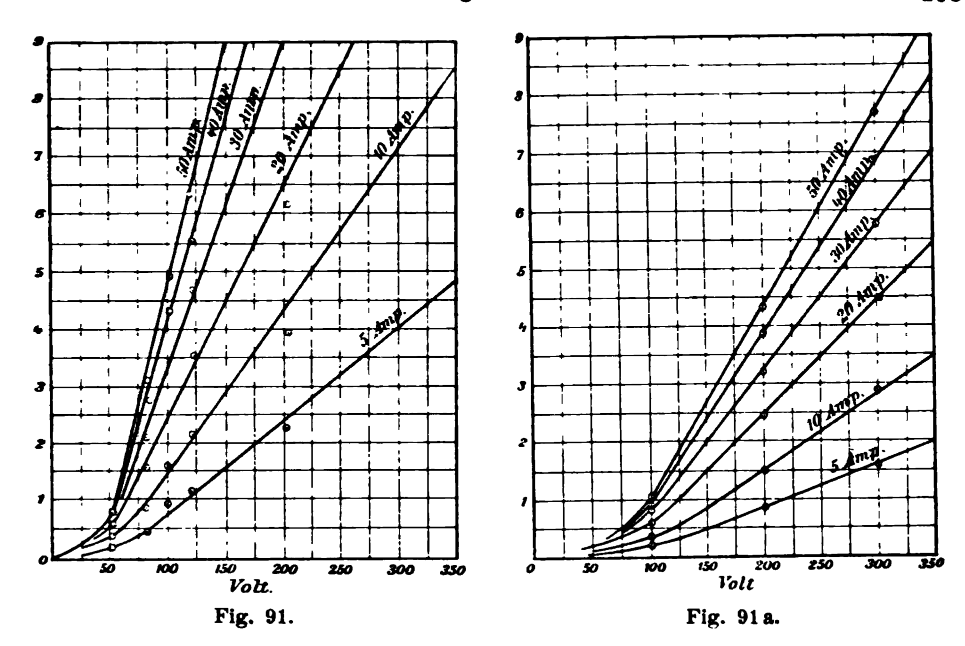


Fig. 91.

Fig. 91 a.

2. Fig. 91 u. 91 a geben die Resultate bei gleichbleibendem Strom und veränderlicher Spannung. Es ergiebt sich, dass die Kurven bei Spannungen über 80 Volt bei einfacher und über 160 Volt bei doppelter Unterbrechung gerade Linien sind, die sich durch die Form

$$\lambda = a\,(E - b)$$

darstellen lassen. Hierin bedeutet λ die Länge des Unterbrechungsfunkens, E die Spannung in Volt, a und b Konstanten.

Bezeichnet λ_l die Länge der Funkenstrecke bei einer um 50 % erhöhten Spannung, so ist

$$\lambda_l = a\,(1{\cdot}5\,E - b)$$

und das Verhältnis der Zunahme der Funkenstrecke ist

$$\frac{\lambda_l - \lambda}{\lambda} = \frac{E}{2\,(E - b)}$$

Dieser Ausdruck lässt sich auch in die Form bringen

$$\frac{\lambda_l - \lambda}{\lambda} = 0{\cdot}5 + \frac{b}{2\,(E - b)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (29)$$

und hieraus ergiebt sich, dass bei einer Zunahme der Spannung um 50 % die Länge des Unterbrechungsfunkens um mehr als 50 % zunimmt. Die folgende Tabelle giebt eine Übersicht über die absoluten Grössen:

Tabelle No. 70.

Strom in Amp.	Funkenstrecke λ in cm in Abhängigkeit von der Spannung E
2	$\lambda = 0{\cdot}006\ (E - 45)$
4	$= 0{\cdot}012\ (E - 42)$
5	$= 0{\cdot}014\ (E - 40)$
10	$= 0{\cdot}0234\ (E - 35)$
20	$= 0{\cdot}034\ (E - 20)$
30	$= 0{\cdot}041\ (E - 13)$
40	$= 0{\cdot}048\ (E - 11)$

3. Die Funkenlänge erwies sich als unabhängig von der Kontaktform und nahm höchstens um etwa 10 % zu, wenn die Kontakte scharf zugespitzt wurden. Auch der Einfluss des Materials, aus welchem die Kontakte bestanden, war nicht allzu bedeutend, wenn sich auch bei einigen der verwendeten Metalle und Legierungen die Funkenlänge um etwa 50 % verringern liess.

4. Die Funkenlänge zeigte sich unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Kontakte auseinander genommen wurden, jedoch ändert sich bei geringer Geschwindigkeit die Gestalt des Funkens, er wird breiter. Je längere Zeit jedoch der Lichtbogen wirkt, um so mehr werden die Kontakte beschädigt und muss daher aus diesem Grunde das Öffnen so schnell wie möglich erfolgen.

5. Der Einfluss der mehrfachen Unterbrechung, der bereits erwähnt wurde, äussert sich etwas anders, als sonst gewöhnlich angenommen wurde. Die Funkenlänge wird nicht auf die Hälfte, sondern z. B. bei einer Spannung von 100 Volt auf den vierten und bei 200 Volt auf den $\frac{1}{2 \cdot 7}$ Teil derjenigen reduziert, welche bei einfacher Unterbrechung auftritt.

Kontaktformen und Dimensionen der Kontakte.

255. Kontaktformen. Um ein sicheres Anlegen der Kontaktflächen zu erreichen, ist meistens ein federndes Glied angeordnet, welches bisweilen zum Hebel, oft zum festen Kontakt, mitunter zu beiden gehört. An Stelle besonderer Federn werden die Kontakte meistens selbst federnd ausgebildet. Fig. 92 giebt eine grössere Anzahl der verschiedensten Kontaktformen wieder.

256. Kontaktflächen. Um ein sicheres Arbeiten der Schalter zu erreichen, muss für die Kontakte möglichst gezogenes Material verwendet werden, welches ausreichende Schleifflächen erhält, damit die Kontakte sich selbst blank halten.

Die Grösse derselben muss so bemessen werden, dass eine schädliche Erwärmung nicht auftreten kann, vorausgesetzt, dass die Wartung eine gute ist. Werden die Kontakte nicht blank gehalten, ab und zu etwas geölt und etwaige Brandstellen sorgfältig geglättet, so wird der beste Schalter bald zu Grunde gehen.

257. Wirkungsgrad der Kontaktflächen. Die Grösse der Kontaktflächen ist abhängig von der zulässigen Strombelastung des verwendeten Materials und den Abkühlungsverhältnissen, die bei verschiedenen Schaltern durchaus verschieden sein können. Es muss hierbei berücksichtigt werden, dass auch die Kontaktform einen wesentlichen Einfluss ausübt. Es liegen ja nicht alle Teile der Kontakte innig aneinander an; die Berührung wird um so inniger sein, je feiner das Material verteilt ist, wie dies z. B. bei Kontaktbürsten geschieht. Liegen massive Klötze aneinander, so wird das Verhältnis der wirklichen zur beabsichtigten Kontaktfläche, ihr Wirkungsgrad, 60 % nicht überschreiten, während bei den ersterwähnten Kontakten eine Ausnutzung von 90 bis 95 % erreicht werden dürfte.

258. Strombelastung. Einheitliche, spezifische Strombelastungen für die Kontakte der Schalter können nicht angegeben werden, da dieselben nur unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Verhältnisse und eventuell durch Versuche festgestellt werden können.

Jedenfalls ist bei den Schaltern eine höhere Strombelastung der Kontakte zulässig, die nicht unter Strom geöffnet werden.

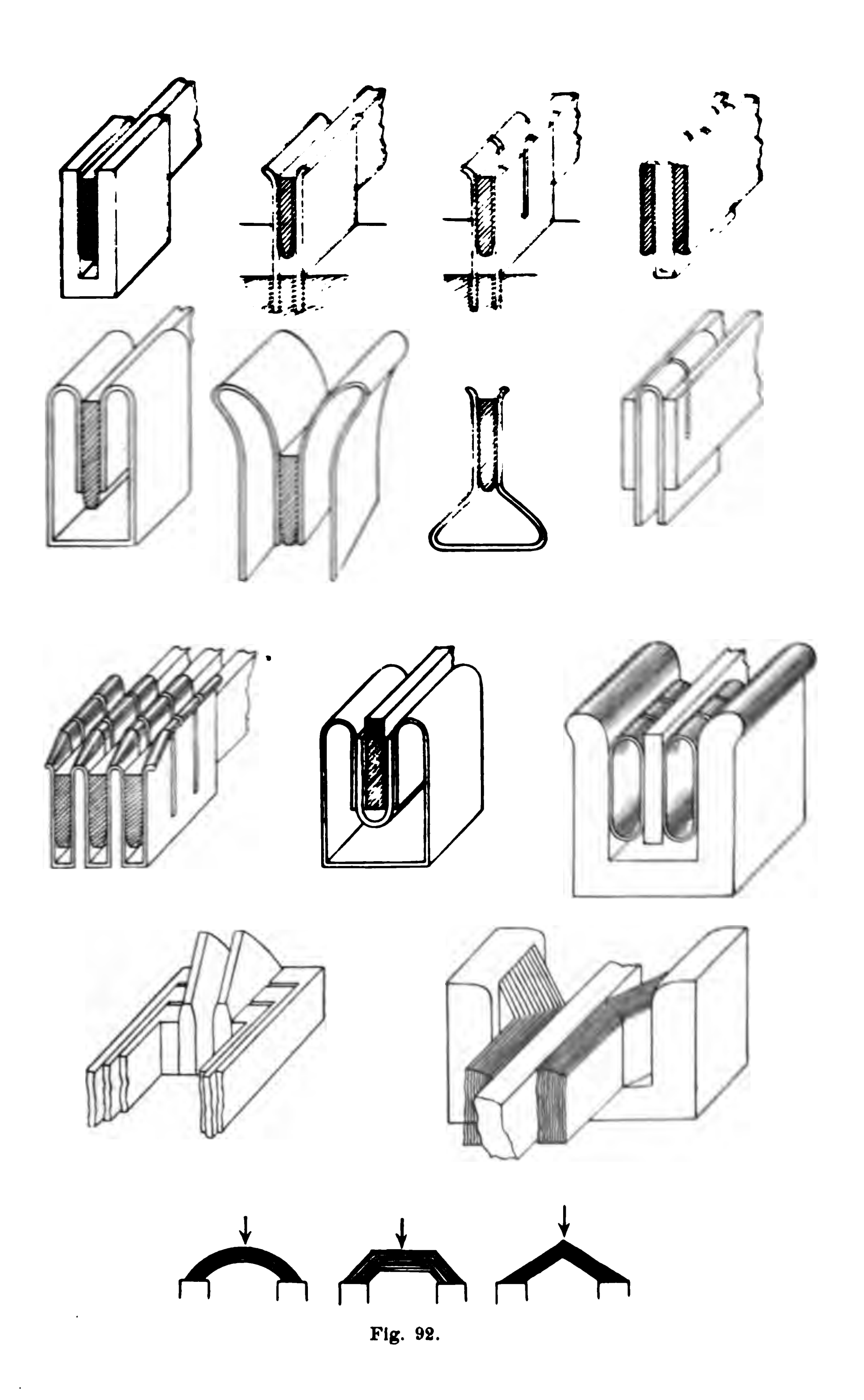


Fig. 92.

Hellmund [1]) giebt an, dass die zulässige Belastung pro Quadratmillimeter von 0·1 bis 5·0 Amp. und noch darüber schwanken kann.

Bei der Bemessung der Kontaktgrössen und deren Anschlussflächen für die Leitungen ist nicht nur genügend Platz für einen Leiter des Querschnittes zu lassen, welcher dem normalen Betriebsstrom entspricht, für den der Schalter gebaut ist, vielmehr muss auch ein Leiter grösseren Querschnittes angeschlossen werden können. Erforderlich ist dies, da mit Rücksicht auf einen bestimmten Spannungsabfall häufig grössere Querschnitte erforderlich sind. Bei grösseren Schaltern wird man sich in den meisten Fällen helfen können, bei kleineren dagegen ist die Schwierigkeit häufig gross.

Die Entfernung der einzelnen Kontakte voneinander muss in richtigem Verhältnis zu dem beim Öffnen auftretenden Lichtbogen stehen, da sonst Stehfeuer eintreten kann. Bei der Dimensionierung einpoliger Schalter muss der Abstand grösser gewählt werden als beim doppelpoligen. [2])

259. Schalter in grossen Zentralen.

Die vorher erwähnte Bedingung, dass ein Schalter das Stehenbleiben eines Lichtbogens verhindern soll, kann jedoch nicht bei allen Schaltern gleichmässig innegehalten werden, insbesondere gilt dies von den in grösseren Zentralen angebrachten Schaltern, welche sehr hohe Stromstärken führen. In diesen Fällen besteht aber im allgemeinen die Aufgabe der Schalter auch nicht darin, eine bestimmte Leistung abzuschalten, vielmehr haben sie den Zweck, Maschinen, Akkumulatoren u. s. w. vom Netz abtrennen zu können, nachdem die Stromstärke auf einen möglichst niedrigen Betrag heruntergedrückt oder sogar auf Null gebracht worden ist. Eine Ausschaltung hoher Leistungen wäre ausserdem, ganz abgesehen davon, dass der Schalter wahrscheinlich zerstört werden würde, gar nicht möglich, da sie unberechenbare Schäden an den antreibenden Maschinen herbeiführen könnten. Wir kommen hierauf noch später bei Besprechung der Hochspannungsschalter zurück. [3])

260. Material für die Schaltersockel.

Jedenfalls bedingt aber der betriebsmässig auftretende Lichtbogen, dass die stromführenden Teile auf nicht brennbaren Unterlagen montiert sind.

Alle diejenigen Materialien können als nicht brennbar bezeichnet werden, welche nicht von selbst weiterbrennen, wenn sie auf eine Temperatur von 100 ⁰ C. gebracht werden. Hierbei muss aber berücksichtigt werden, dass manche Körper sehr schwer entflammbar sind, wenn sie geschlossene abgerundete Massen bilden, dagegen sich leichter entzünden, wenn scharfe Kanten vorhanden sind. Es genügt daher nicht, ein beliebiges Stück des betreffenden Materials zu untersuchen, sondern das Material muss beim Versuch die thatsächlich beabsichtigte Form besitzen. [4])

Speckstein, Schiefer, Marmor, Porzellan werden als Unterlage im allgemeinen verwendet. Von der Spannung und im wesentlichen auch vom Verwendungsort wird dann die Auswahl unter den angegebenen als Grundplatte verwendbaren Isoliermaterialien und ihre Form abhängig gemacht werden müssen. Speckstein wird selten für andere als Installationsschalter verwendet, deren höchste Spannungsgrenze etwa bei 500 Volt liegt. Schiefer und Marmor können bei guter Auswahl für Spannungen bis 3000 Volt verwendet werden, während bei höher liegenden Spannungen die Isolierung stromführender Teile auf Porzellan erfolgt.

1) Z. f. E. Wien 1902. S. 499.
2) Hdb. VI, 1. S. 194.
3) Hdb. VI, 1, S. 242.
4) Dies gilt auch für Steckkontakte, vgl. S. 215 dieses Bandes.

Die Verwendung von Porzellan ist jedoch nicht nur auf diese Fälle beschränkt, vielmehr nimmt die Ausbreitung dieses Materials immer mehr zu und neuerdings werden auch die meisten Sockel von Installationsschaltern aus dem leicht bildsamen, gut isolierenden und dabei billigen Porzellan hergestellt.

261. Auswahl der Schalter.

Bei der Auswahl der Schalter ist auf den Verwendungsort die erforderliche Rücksicht zu nehmen. Von vornherein muss aber schon durch die Konstruktion der Schalter häufig vorkommenden ungünstigen Verhältnissen Rechnung getragen werden, indem sie so ausgebildet werden, dass sie z. B. in feuchten Räumen sichere Verwendung finden können. Wo aber die Konstruktion des Schalters an sich nicht genügende Gewähr für gute Isolation bietet, muss durch die Art der Montage dieser Mangel beseitigt werden. In der Regel werden die Schalter dann auf Isolierglocken oder in dicht schliessenden Gehäusen montiert.

Dass der persönliche Schutz weitgehende Berücksichtigung bei der Konstruktion und der Anbringung der Schalter finden muss, ist an anderer Stelle[1]) näher auseinandergesetzt. Insbesondere müssen alle Schalter, welche ausserhalb elektrischer Betriebsräume angebracht werden sollen, mit Schutzkappen oder Gehäusen aus Isoliermaterial versehen sein, welche die stromführenden Teile verdecken und somit deren unbeabsichtigte Berührung verhindern. Selbstverständlich wird man aber auch in solchen Betriebsräumen, in denen eine Berührung stromführender Teile dem Bedienungspersonal schon bei niedrigen Spannungen Gefahr bringen kann, die mit Schutzkästen versehenen Schalter wählen oder sie an nicht ohne weiteres zugänglichen Stellen anbringen, während im allgemeinen zur Erhöhung der Betriebssicherheit und besseren Überwachung die stromführenden Teile in Betriebsräumen nicht verdeckt werden.

Auf dem festen Teil aller Schalter muss die normale Stromstärke und Spannung aufgeschlagen sein. Bei Hochspannungsschaltern ist es ausserdem noch erforderlich, diejenige Stromstärke anzugeben, bei welcher thatsächlich unter der normalen Betriebsspannung ausgeschaltet werden kann.

Anordnung der Schalter.

262. Schalter in Netzen.

Zweckmässig werden in alle Stromkreise Schalter derart eingebaut, dass es möglich ist, jene bequem vom Netz abzutrennen. In weitverzweigten Kabelnetzen wird indessen häufig auf die Anordnung von Schaltern verzichtet, da die räumlich ungünstigen Verhältnisse (z. B. in Kabelkästen) ihre Anbringung nicht immer ermöglichen lassen. Zum Abtrennen dieser Netzteile werden dann die Sicherungseinsätze verwendet. Weniger häufig werden in anderen als Kabelnetzen die Sicherungen zum Abschalten verwendet. Indessen muss in allen diesen Fällen die Bedingung der Betriebsvorschriften[2]) erfüllbar sein, dass die Unterbrechung eines Stromkreises mittels einer Sicherung nur dann erfolgen darf, wenn eine schädliche Lichtbogenbildung dabei nicht auftreten kann.

Werden Schalter eingebaut, so müssen sie allpolig abschalten, so dass der hinter ihnen liegende Leitungszweig spannungslos wird. Nur in einzelnen Glühlampenstromkreisen ist die Anbringung einpoliger Schalter gestattet.[3])

---

1) Hdb. VI, 2.

2) Sicherheitsvorschriften für den Betrieb elektrischer Starkstromanlagen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, § 11c.

3) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 198 u. f.

263. Schalter in Nullleitern.

In Nullleiter oder betriebsmässig an Erde liegende Leiter ausserhalb elektrischer Betriebsräume dürfen dagegen Ausschalter nur dann eingeschaltet werden, wenn sie zwangläufig mit den in den übrigen Leitern angeordneten Schaltern bethätigt werden können. Einpolige Schalter sind also nicht anwendbar, wenn der Nullleiter überhaupt einen Schalter erhalten soll. Es sollen hierdurch die Gefahren vermieden werden, welche bei ungleichmässiger Belastung der verschiedenen Dreileiterseiten eintreten können, wenn der Nullleiter vom Netz abgetrennt wird, die Aussenleiter dagegen nicht. Es sind hierbei dieselben Gesichtspunkte massgebend, die zum Verbot der Sicherungen in derartigen Leitern führten (vergl. Kapitel „Sicherungen").

In elektrischen Betriebsräumen dagegen wird sich die getrennte Anordnung von Schaltern nicht immer vermeiden lassen.

264. Schalter in Stromkreisen, welche nach gefährdeten Räumen führen.

Während es also im allgemeinen jedem überlassen bleibt, Schalter so anzuordnen, wie es für die jeweilig in Betracht kommenden Verhältnisse am zweckmässigsten erscheint, ist bei allen Leitungen, welche nach feuchten, durchtränkten oder säurehaltigen Räumen führen, die Anbringung von Schaltern unerlässlich. Um elektrolytische Zersetzungen möglichst zu vermeiden, werden sie nur solange geschlossen gehalten, wie unbedingt Strom gebraucht wird. Statt der einfachen Ausschalter können bei Gleichstromanlagen zweckmässig Umschalter verwendet werden, mittels welcher die Stromrichtung in der Ableitung geändert wird, wodurch das elektrolytische Zersetzungswerk wesentlich verzögert wird. Nach einer Mitteilung von LARSEN[1]) liess sich durch einmalige tägliche Stromumkehrung die elektrolytische Wirkung auf ungefähr den vierten Teil und durch Stromumkehrung jede Stunde auf ungefähr den dreissigsten Teil verringern.

Installationsschalter.

265. Momentschaltung.

Sie müssen Momentschalter sein, d. h. die Stromunterbrechung muss durch eine plötzlich eintretende Bewegung des Kontaktstückes erfolgen. — Diese Konstruktionsvorschrift ist dadurch bedingt, dass diese Schalter auch den unerfahrensten Personen zugänglich sein müssen, ohne dass sie Gefahr laufen, sich beim Auftreten von Stehfeuer zu verbrennen. Massgebend war auch für die Wahl dieser Anordnung die bedenkliche Neigung vieler Personen, die früher üblichen einfachen Schalter, bei denen die Möglichkeit den Kontakt langsam abzuheben, vorlag, in solche Stellungen zu bringen, in welchen der Funke nicht unterbrochen wurde. Beim Momentschalter erfolgt die Unterbrechung unabhängig vom Willen des Schaltenden, indem ein Schaltstern, an welchem die Schleiffedern, oder aber bei anderen Konstruktionen auch die nicht federnden Kontakte angebracht sind, durch Federkraft gedreht wird. Die Feder bekommt die nötige Spannung durch die Drehung des Griffes, und zwar fast ausnahmslos durch Rechtsdrehung desselben.

266. Tote Linksdrehung.

Nun werden derartige Schalter häufig der Gefahr der Verletzung dadurch ausgesetzt, dass sie in entgegengesetzter Richtung gedreht werden.

Um dem vorzubeugen, werden moderne Schalter derart gebaut, dass es möglich ist, den Griff auch in der der Schaltrichtung entgegengesetzten zu drehen, ohne aber den Schaltstern mitzunehmen. Diese Einrichtung hat den allerdings nicht ins Gewicht fallenden Nachteil, dass an der Stellung des

1) ETZ 1902, S. 868.

Griffes nicht ohne weiteres erkennbar ist, ob der Schalter eingeschaltet ist, oder in der Ausschaltestellung steht. Zeitweise wurde hierauf viel Wert gelegt und auch verlangt, dass an den Schalterkappen Ein- und Ausschaltestellung markierende Zeichen angebracht wurden. Diese haben aber nur während der Montage grösseren Wert, sind auch bei Umschaltern und sogenannten Hôtelschaltern, die das Einschalten einer Glühlampe von zwei verschiedenen Stellen ermöglichen, zwecklos.

267. Bezeichnung der Schalter nach Strom und Spannung.

Dagegen ist die normale Stromstärke und die entsprechende Spannung auf dem festen Teil, nicht auf der Kappe, da diese vertauscht werden könnte, zu vermerken. Da innerhalb einer gewissen Grenze die Schalter eine bestimmte Energie abzuschalten vermögen, so findet man häufig zwei Bezeichnungen auf den Sockeln, z. B. 4 Amp. 250 Volt; 2 Amp. 500 Volt.

Um eine möglichst grosse Einheitlichkeit zu erzielen, sind bestimmte Stromstärken und Spannungen vereinbart und demzufolge die Stufenfolge der Schaltertypen festgelegt, und zwar für 2, 4, 6, 10, 15, 20, 40, 60, 80 und 100 Amp. und für 125, 250 und 500 Volt.

Prüfung der Installationsschalter.

Alle Installationsschalter werden einer mehrfachen Prüfung unterzogen, bei der die Widerstandsfähigkeit ihrer Isoliermaterialien gegen Durchschlagen, ihre Erwärmung und mechanische Festigkeit festgestellt und schliesslich auch untersucht wird, ob beim Schalten Stehfeuer auftritt.

268. Durchschlagsprüfung.

Der erste Versuch erfolgt im ausgeschalteten Zustande, indem der Griff mit Stanniol umwickelt wird und nunmehr zwischen diesem, dem Gehäuse und den Befestigungsschrauben einerseits und der Kontaktvorrichtung andererseits, eine Spannung angelegt wird, welche diejenige, für welche der Schalter bestimmt ist, um 1000 Volt überschreitet. Im ausgeschalteten Zustand muss die gleiche Spannung an die beiden Kontakte angelegt werden können, ohne die Isolierung zu beschädigen. Die Spannung muss mindestens fünf Minuten lang wirken.

269. Erwärmung.

Die Kontaktteile werden auf ihre Erwärmung bei geschlossener Kappe und einer erhöhten Stromstärke geprüft, die bei Schaltern bis 10 Amp. das 1·5fache, bei solchen über 10 Amp. das 1·25fache der maximalen auf dem Schalter verzeichneten Stromstärke beträgt. Die Kontakte sollen, wenn der Strom eine Stunde lang den zu prüfenden Schalter durchflossen hat, keine übermässige Temperatur annehmen. „Die Temperatur gilt als übermässig,[1]) wenn es gelingt, eine Stelle zu finden, an der ein Kügelchen reinen Bienenwachses, das vorher an die Stelle gelegt wurde, nach Beendigung des Versuches geschmolzen ist.“ Da Wachs aber bei 64° C. (Angabe der „Hütte“) schmilzt, so können die Kontakte sich bis zu dieser Temperatur erwärmen. Die Sicherheitsvorschriften[2]) bezeichnen die Erwärmung von Schaltern als ungehörig, wenn die Temperatur der Dose die Lufttemperatur um 10° C. überschreitet. Beide Vorschriften kommen auf dasselbe heraus, da bei der angegebenen Kontakttemperatur die Dosentemperatur wenig über die Temperatur der sie umgebenden Lufttemperatur ansteigen wird. Die Temperaturen

1) § 11 der Vorschriften f. d. Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterialien.
2) Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen. Niederspannung § 11b.

aber einwandsfrei zu messen, wird in beiden Fällen praktisch gleich schwer ausführbar sein.

270. Mechanische Prüfung der Federn.

Für die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Installationsschalter ist eine tadellose Beschaffenheit der Federn erforderlich. Die Prüfung derselben wird durch häufiges Ein- und Ausschalten im stromlosen Zustande vorgenommen. Indessen dürfen die Umdrehungen nicht zu schnell erfolgen, da der Versuch sonst praktischen Verhältnissen zu wenig gleichkommen würde. Die Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterialien verlangen daher, dass höchstens je 5000 Ein- und Ausschaltungen innerhalb fünf Stunden vorgenommen werden, jedoch kann der Zeitraum auch nach Belieben verlängert werden. Bei diesem Versuch werden die Schalterachsen mechanisch, etwa in einer Drehbank, angetrieben. Immerhin wird durch diesen Versuch das Material auf eine harte Probe gestellt und jedenfalls kann mit Sicherheit erwartet werden, dass Schaltertypen, welche diesen Bedingungen genügten, für den normalen Gebrauch, bei welchem sie häufig in 5 oder 10 Jahren keine 1000 Mal geschaltet werden, in hervorragender Weise befähigt sein werden.

271. Prüfung durch Schalten unter Strom.

Nachdem der Schalter der vorstehenden Prüfung unterzogen worden ist, muss er aber noch imstande sein, den folgenden Versuch [1]) auszuhalten:

Um festzustellen, dass bei rasch wiederholtem Gebrauch des Schalters sich kein dauernder Lichtbogen bildet, ist der Schalter bei den auf ihm verzeichneten Spannungen und den entsprechenden Stromstärken, welche um den in der untenstehenden Tabelle angegebenen Prozentsatz zu erhöhen sind, bei induktionsfreier Belastung in Thätigkeit zu setzen, und zwar mit geschlossenem Gehäuse.

Die Versuchsdauer ist drei Minuten und in dieser Zeit ist die in nachstehender Tabelle angegebene Zahl von Stromunterbrechungen vorzunehmen:

Tabelle No. 71.

Grösse des Schalters in Amp. bis	10	15—40	60—100
Die den normalen Spannungen entsprechenden Stromstärken sind zu steigern um %	30	25	20
Zahl der Ausschaltungen in drei Minuten	90	60	30

An einigen Schaltertypen wollen wir nun sehen, wie der Konstrukteur die Aufgabe, ohne Stehfeuer auszuschalten, gelöst hat.

Die Installationsschalter von Bergmann & Co.

272. Beispiele von Installationsschaltern.

Sie besitzen einen Schlagstern, der mit dem Griff durch eine flache Spiralfeder gekuppelt werden kann. Bei Rechtsdrehung legt sich das Ende der Feder gegen den durch einen radialen Einschnitt und Aufbiegen des-

1) § 13 der Vorschriften f. d. Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterialien.

selben hergestellten Anschlag einer am Schlagstern angebrachten Scheibe, wie dies deutlich aus Fig. 93 c zu erkennen ist, und nimmt hierdurch den Stern mit. Wird der Griff nach links, also falsch gedreht, so gleitet die

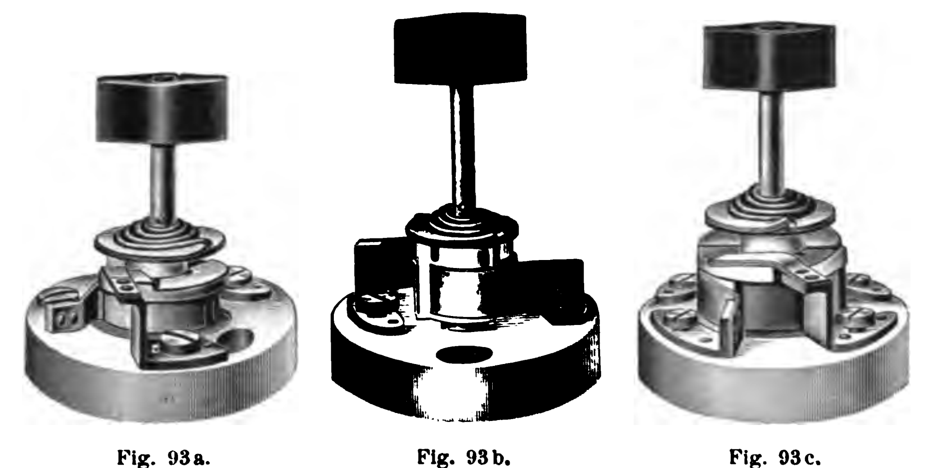


Fig. 93 a. Fig. 93 b. Fig. 93 c.

Feder über den bei dieser Drehrichtung wirkungslosen Anschlag hinweg, ohne den Schaltstern zu bewegen. Im übrigen erläutert Fig. 93 a die Konstruktion einer Type, welche als einpoliger Umschalter, Wechselschalter und auch als ein- und zweipoliger Gruppenschalter dienen kann. Fig. 93 b zeigt einen einpoligen Ausschalter und Fig. 93 c kann als Kreuzungsschalter und als doppelpoliger Ausschalter verwendet werden.

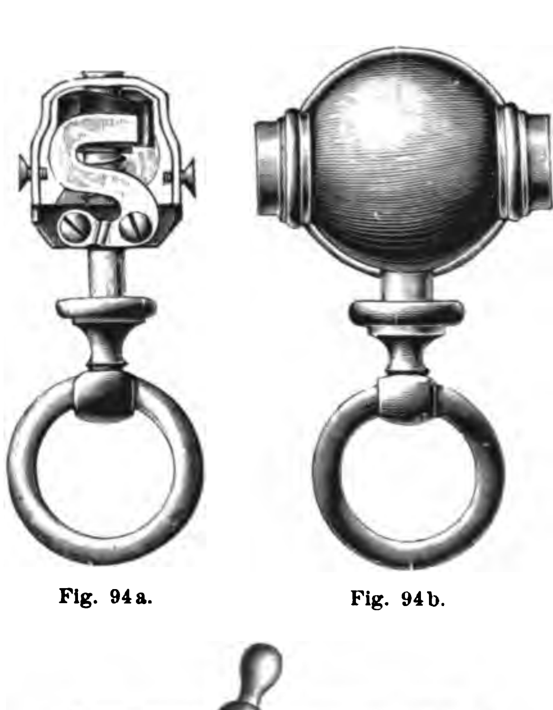


Fig. 94 a. Fig. 94 b.

Als Spezialtype für Beleuchtungskörper wird von Bergmamn & Co. der in Fig. 94 wiedergegebene Schalter auf den Markt gebracht. Derselbe wird in der gleichen Art in den Beleuchtungskörper eingebaut, wie dies bei Gasarmaturen üblich ist. Für den direkten Einbau des Schalters in eine Rohrleitung, wo wenig Platz vorhanden ist, kann der in Fig. 95 dargestellte Verwendung finden.

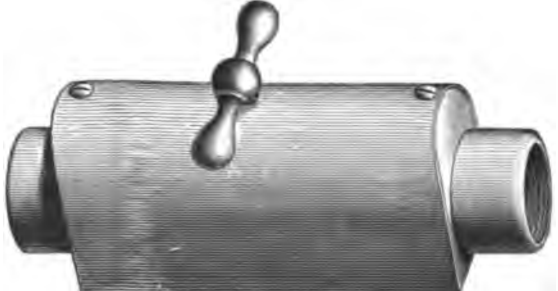


Fig. 95.

Die Schalter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin

bestehen im wesentlichen aus einer Schaltscheibe aus Isoliermaterial, welche sowohl an der oberen wie an der unteren Seite mit dreieckigen Einkerbungen versehen ist (Fig. 96). In diesen werden Metallplättchen befestigt, welche unter Vermittlung der auf der Ober- und Unterseite schleifenden Federn die mannigfaltigsten Verbindungen mit den Anschlussklemmen gestatten.



Fig. 96.

Um die Schalter für höhere Spannungen verwendbar zu machen, werden sie, um das Überschlagen von Funken zu vermeiden, mit trennenden Zwischenwänden ausgerüstet (Fig. 97 u. 97a). Diese Schalter können dann für Spannungen bis 550 Volt Verwendung finden. Wenn sie jedoch nur bei 250 Volt gebraucht werden, so können sie für entsprechend höhere Stromstärken verwendet werden als bei 550 Volt zulässig ist, z. B. bei 250 Volt mit dem dreifachen auf dem Schalter vermerkten Betrage.



Fig. 97.



Fig. 97a.

Die Schalter der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co.

welche schon seit langen Jahren verwendet werden, bestehen aus einem Sockel, in dessen viereckige Aussparung die festen und beweglichen Teile eingebettet werden. Fig. 138b zeigt diese Anordnung, die gleichzeitig erkennen lässt, dass die an die vier Wände der Aussparung angelegten Kontaktplättchen oben zu einem rechtwinklig hervortretenden Lappen ausgebildet sind, mittels dessen ihre Befestigung auf dem Sockel erfolgt. Sie haben gleichzeitig den Zweck, den Kontakt mit den Leitungen zu vermitteln. Innerhalb der Aussparung wird der Schaltstern montiert, der durch eine einfache und solide Art mit der Achse derart verbunden ist, dass „tote Linksdrehung“ möglich ist. Die Kupplung zwischen Griff und Achse vermittelte bei den älteren Konstruktionen ein aufgeschlitztes Rohr, welches nach aussen auffedert. Die eine Kante dieses Rohres ist rechtwinklig nach innen gebogen und fasst hier in einem Längsschnitt die Schalterachse. Die zweite auffedernde Kante greift bei Rechtsdrehung in einen zahnförmigen Einschnitt des Griffes und nimmt somit den Schaltstern mit. Bei falscher Drehrichtung

findet keine Kupplung zwischen Griff und Achse statt. Der federnde Rohrteil gleitet wirkungslos über den Zahn im Griff hinweg.

Statt der vorstehenden Sperrvorrichtung haben die neueren Schalter die folgende. Der Schaltstern ist mit zwei zahnartigen Einkerbungen versehen; in diese greifen die Federn ein, welche zu diesem Zweck im Innern ringförmig angeordnet sind. In den Ring treten die rechtwinklig abgebogenen Enden der Federn ein. Bei der richtigen Drehung greifen diese in die Einschnitte des Sternes, ihn mitnehmend. Bei Linksdrehung gleiten sie über den Zahn hinweg.

Am Schlagstern sind die Federn befestigt, die aus mehreren übereinandergelegten Metallstreifen bestehen. Sie schleifen am Anfang der Drehung zunächst auf dem Kontakt, springen dann aber plötzlich nach dem nächsten über. Durch eine eigenartige Vorrichtung wird bei diesen Schaltern der Öffnungsfunke gelöscht. Mit den Kontaktfedern eng verbunden sind gleichartig geformte Federn aus Isoliermaterial, die den metallenen Federn nacheilen. Sie treten sofort zwischen die eilende Kontaktfeder und den ruhenden Kontakt und schneiden somit dem Lichtbogen den Weg ab, ihn gleichsam wegwischend.

Die Installationsschalter von SIEMENS & HALSKE, A.-G.

SIEMENS & HALSKE haben, abweichend von den bisher beschriebenen Typen, Schalterkonstruktionen verwendet, die in den Fig. 98 bis 100 wiedergegeben sind. Die erste zeigt den nur für kleinere Stromstärken bestimmten Schalter in der Seitenansicht, während Fig. 99 die Ansicht eines für grössere Stromstärken bestimmten nach demselben Prinzip, aber etwas anders durchgebildeten Schalters wiedergiebt. Auf der isolierenden Grundplatte sind die beiden Kontaktstücke angeordnet, welche auch die Leitungen aufnehmen. Rechtwinklig hierzu und im Rahmen verschiebbar angeordnet



Fig. 98.





Fig. 99.

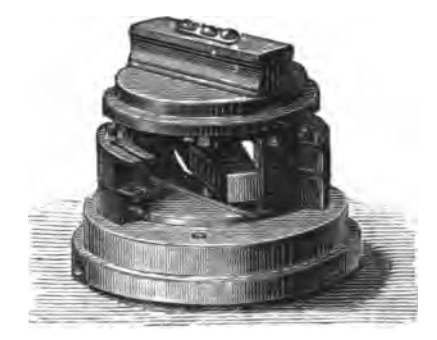


Fig. 100.

ruht eine kleine Achse, an deren Ende ein kleiner, beiderseits abgeschrägter Zylinder befestigt ist. Beim Einschalten wird dieser durch die über die Achse geschobene Spiralfeder über eine kleine Rolle geschoben, wodurch ein auf der Achse sitzendes und von ihr isoliertes Metallstück herabgedrückt und hierdurch eine Verbindung zwischen den beiden Anschlusskontakten

hergestellt wird. Im ausgeschalteten Zustande ruht der kleine Kegel unter dem Röllchen. Durch die Verwendung der Spiralfeder wurden diese Schalter Momentschalter, indessen war es, insbesondere bei der kleineren Type, leicht möglich, sie in Stellungen zu bringen, in welchen Stehfeuer eintrat. Sie haben nur noch geschichtliches Interesse.


Fig. 101.

Bei der in Fig. 100 gezeigten Konstruktion wird ein Kontaktstück in federnde Kontakte gedrückt, welches beim Ausschalten durch sehr starke Federn momentan in die Ausschalteschaltung gebracht wird.

Die vorstehend beschriebenen Schalter, die sich einer grossen Beliebtheit erfreuten, mussten jedoch aufgegeben werden, als die Lampenspannung von 100 Volt auf das Doppelte erhöht wurde, bemerkenswert ist jedoch ihre Ähnlichkeit mit vielen englischen Schaltern, die heute noch gebaut werden.

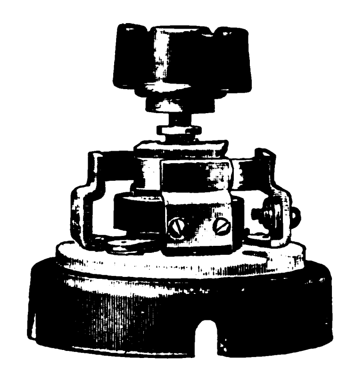
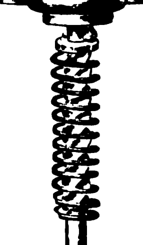

Fig. 102.


Fig. 102a.


Fig. 102b.

Es wurden später die in Fig. 101 gezeichneten Schalter auf den Markt gebracht. Bei diesen sind sowohl die ruhenden als auch die beweglichen Kontaktstücke aus Federn gebildet, die beim Ausschalten weit auseinanderschnellen und infolge ihres weiten Abstandes voneinander den Funken sicher auseinanderreissen.

Die in Fig. 102 wiedergegebenen Schalter weichen von den üblichen Konstruktionen weit ab. Die Achse ist als mehrfache steilgängige Schraube (Fig. 102b) ausgebildet, welche vor dem Ausschalten den Schaltstern hochhebt und dadurch gleichzeitig die in Fig. 102b erkennbare Feder anspannt. Im weiteren Verlauf der Drehung löst sich der Schaltstern (Fig. 102a) von der Achse und wird durch die stark gespannte Feder schnell vorwärts geschleudert, wobei er sich gleichzeitig in seine normale Lage senkt.

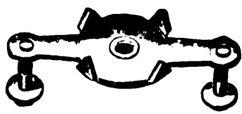

Fig. 102c.


Fig. 102d.

Der viereckige Schaltstern selbst besteht aus Isoliermaterial. Die Kontaktfedern sind um ihn herumgelegt, und an den Stellen, wo sie sich berühren, durch umgelegte und verlötete Ringe zusammengehalten.

Es ist erforderlich, noch die Schaltbegrenzung des vorwärts eilenden Schaltsternes zu erwähnen. Sie besteht aus kleinen Zähnen (Fig. 102c), welche aus einem Metallkranz hervortreten und in ein entsprechendes Fangteil des Kernes eingreifen.

Den fertigen Schalter zeigt Fig. 102d.

Bei der Besprechung der Sicherungen wird erwähnt, dass, um das Stehenbleiben des Lichtbogens zu vermeiden, zwischen die Anschlussstellen der Schmelzdrähte Wände aus Isoliermaterial geschoben werden. Dasselbe Prinzip wenden Siemens & Halske, Wien, bei Installationsschaltern durch eine eigenartige Ausbildung des Schaltersockels (Fig. 103) an. Der Sockel umschliesst alle stromführenden Teile des Schalters und wird oben durch einen

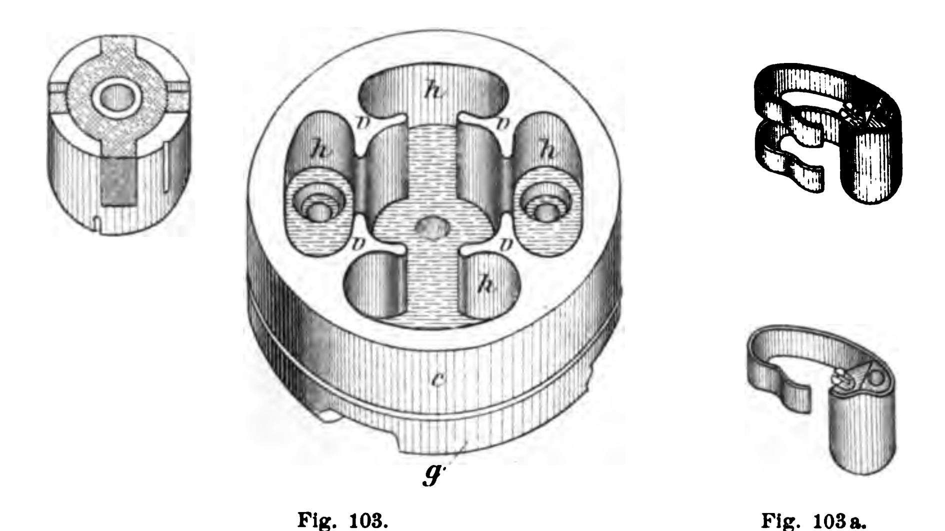


Fig. 103. Fig. 103a.

dichtschliessenden Deckel abgeschlossen. Durch radiale Vorsprünge *vv* werden Hohlräume *h* geschaffen, welche die federnden Teile (Fig. 103a) aufnehmen. Die Durchbrechungsstellen, welche die Hohlräume *h* mit dem inneren zylindrischen für die Schaltwalze bestimmten Hohlraum verbinden, sind nur soweit durchbrochen, dass die Kontaktfedern nach der Schaltwalze hin durchfedern können. Die Vorsprünge selbst treten so dicht an die Schaltwalze heran, dass der Unterbrechungsfunke so eng zwischen die kühlen Wände eingezwängt wird, dass er rasch erlischt. Das Überschlagen über die Vorsprünge von Kontakt zu Kontakt wird durch den dichtschliessenden Deckel verhindert.

Nach dem Gebrauchsmuster No. 188113 wird ein anderes Mittel verwendet, um Stehfeuer zu vermeiden, welches dann leicht auftreten kann, wenn die beweglichen Kontaktstücke der Schalter mit nach rückwärts ausgedehnten Fortsätzen auf dem isolierenden Teil der Schaltwalzen befestigt werden. Die letzteren Teile werden mit isolierenden und gleichzeitig feuersicheren Stoffen bekleidet, wodurch die früher freiliegenden Metallflächen gut geschützt und der Abstand zwischen der Schaltwalze und den festen Kontaktstücken zu gunsten eines gedrängten Schalterbaues verhältnismässig klein gehalten werden kann.

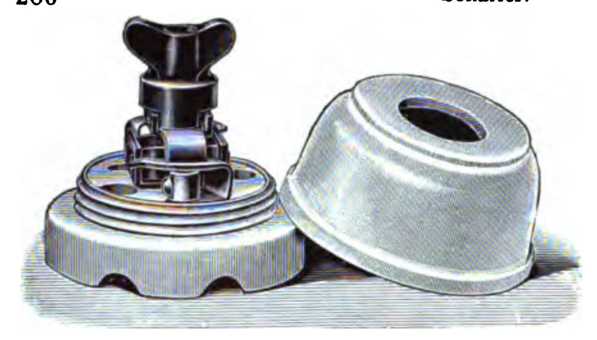


Fig. 104.

Installationsschalter von Voigt & Haeffner.

Voigt & Haeffner bauen Schalter, bei denen die Schaltteile dadurch federnd gemacht werden, dass sie aus übereinandergelegten Blechstreifen bestehen. In Fig. 104 sind auch für die festen Kontakte Federn vorgesehen, während bei dem in Fig. 105 dargestellten diese ohne Federung auf dem Sockel befestigt sind. In einer anderen Ausführung sind die festen Kontakte auf dem isolierenden Teil des Schlagsternes montiert, während auf den Anschlusssockeln montierte Federn den Stromschluss herstellen. In Fig. 106 ist ein auf diesem Prinzip beruhender dreipoliger Drehausschalter wiedergegeben.



Fig. 105.



Fig. 106.



Fig. 107.

Diese Schalter haben im übrigen ebenfalls „tote Linksdrehung“, deren Konstruktion aus Fig. 107 ohne weiteres zu ersehen ist.

Ein[illegible]

In seinem [illegible] für die [illegible] Peschel einen interessanten Schalter Fig. 1[illegible] von Hart & [illegible] Hartford Co. Die Trennung wird durch eine Schraubenfeder bewirkt, welche sowohl auf Torsion, als auch auf Druck beansprucht wird. Durch die Torsion wird der ausgelöste Schalthebel vorwärts geschleudert, während die Druckwirkung der Feder dazu dient, ein Zahngesperre zum Eingriff zu bringen, wodurch ein Hinausschlagen des Schalthebels über das Ziel hinaus verhindert wird. Die Feder dieses Schalters wirkt sowohl beim Einschalten, als auch beim Ausschalten. Auch die Arretierungen der Vorwärtsbewegung sind so angebracht, dass der Schalthebel in seiner richtigen Lage auf dem Kontaktstück arretiert wird und ebenso beim Ausschalten in seiner Ruhelage. Das Innere des Schalters wird durch eine besondere Anordnung des Griffes gegen das Eindringen von Schmutz geschützt. Im Griff ist ein ringförmiges bewegliches Stück angebracht, welches durch eine im Griff liegende Spiral-



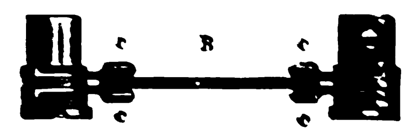
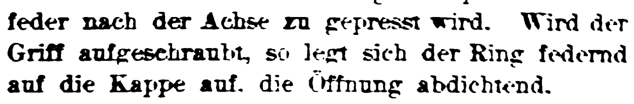


Fig. 108.



feder nach der Achse zu gepresst wird. Wird der Griff aufgeschraubt, so legt sich der Ring federnd auf die Kappe auf, die Öffnung abdichtend.

Fig. 110 giebt einen in England und Amerika viel verwendeten Schalter wieder, der statt der kreisförmigen Bewegung des Griffes eine Hebelbewegung besitzt. Die Abbildung entstammt dem Katalog der „Electric and Ordnance Accessories Co.“, Birmingham. Fig. 109 zeigt einen äusserst einfachen Schalter, gebaut von The Hart Mfg. Co., Hartford.



Fig. 109.

Spezialkonstruktionen.

In vielen Fällen ist es erwünscht, eine Glühlampe zu verdunkeln, um sie zur Nachtbeleuchtung zu verwenden. Hierfür werden sogenannte Dunkelschalter verwendet, die mit einem Widerstand ausgerüstet, die Leuchtkraft entsprechend reduzieren. In der Regel ist nur eine sprungweise Abstufung der Lichtstärke möglich. Hummel & Hellberger,[1] München, bauen einen Schalter, der eine allmähliche Änderung des Lichtes dadurch ermöglicht, dass ein Kontakt über eine fortlaufende Widerstandsspirale schleift.

[illegible]. Dunkelschalter.

---

1) ETZ 1900, S. 357.

274. Abschluss der Leitungen am Schalter. Für viele Fälle ist es erforderlich, wie z. B. für Installationen auf Schiffen und in Bergwerken, dass die Schalter in mehr oder weniger dicht schliessenden Kapseln angeordnet werden müssen, in welche auch die Leitungen, die in diesen Fällen häufig aus Kabeln bestehen, unter dichtem Abschluss eingeführt werden. Häufig ist hierbei erforderlich, dass die Leitungen vor Eintritt in die Schalter stark gebogen werden müssen, und innerhalb der Schalter, in denen naturgemäss wenig Platz ist, müssen die stark isolierten Leitungen



Fig. 110.



Fig. 110a.

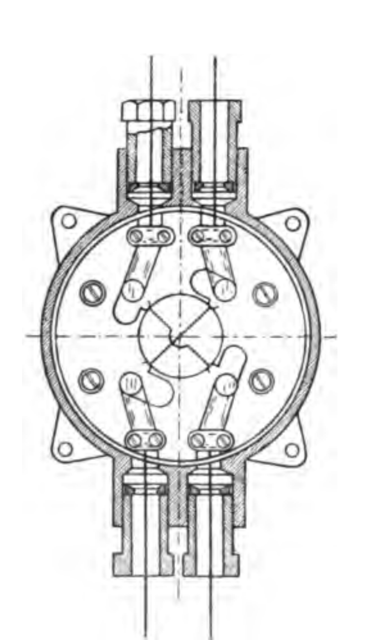


Fig. 111.

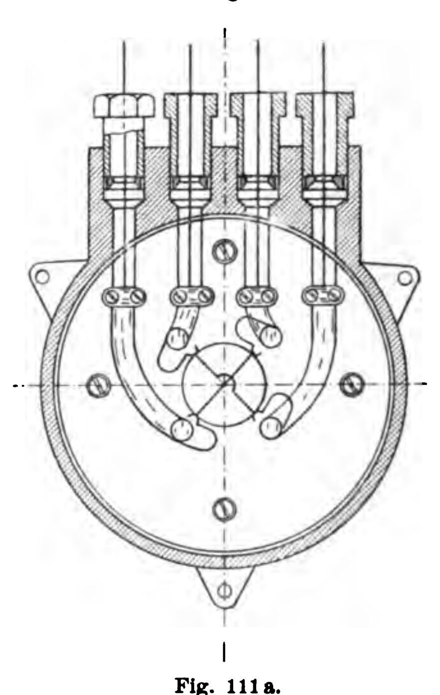


Fig. 111a.

bis zu den festmontierten Klemmen geführt werden; es ist jedoch wünschenswert, die Leitungsenden innerhalb der Kapsel befestigen zu können, ohne sie vor ihrem Eintritt in den Schalter oder innerhalb desselben starken Biegungen zu unterwerfen.

Siemens & Halske verwenden aus diesem Grunde nach dem Gebrauchsmuster No. 195442 Verbindungslaschen, welche eine leitende Brücke zwischen

den feststehenden Kontakten ohne Rücksicht auf deren Lage bei beliebiger Anordnung der Einführungsöffnungen herstellen. Die Laschen bestehen aus Metallstreifen, die an ihrem einen Ende feststehende Kontaktstücke, am anderen Klemmen für die Leitungsenden tragen. Die Form der Laschen richtet sich dann immer nach der Stellung der Einführungsöffnungen, so dass die Klemmenenden der Laschen immer so vor den Einführungsöffnungen liegen, dass gerade Leitungsenden verwendet werden können. Zwei derartige Anordnungen zeigt Fig. 111, aus denen auch noch ersichtlich, dass die Kontaktstücke mit federnden Teilen ausgerüstet werden können. Naturgemäss ist durch eine solche Anordnung eine einfache Leitungsführung und Montage ermöglicht.

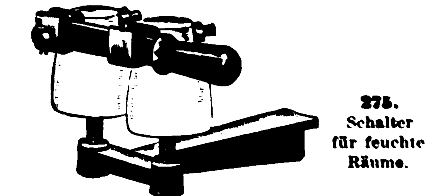


Fig. 112.

275. Schalter für feuchte Räume.

Besondere Schalterformen mussten für den Gebrauch in feuchten Räumen oder im Freien geschaffen werden.

Der einfachste und auch sicher isolierende ist der in Fig. 112 wiedergegebene Schalter, dessen Kontakte auf Isolatoren befestigt sind. Derselbe kann jedoch nur in unzugänglicher Lage verwendet werden, wo eine Berührung der stromführenden Teile nicht ohne weiteres möglich ist.

In den meisten Fällen werden jedoch gusseiserne Gehäuse verwendet, wie sie in Fig. 113 u. 142 gezeigt sind. Der letztere dient zum Anschluss bei einer Rohrmontage, während bei offener Verlegung auch Konstruktionen Verwendung finden, bei denen die Einführungen am unteren Teil liegen, so dass etwa eintretende Feuchtigkeit ohne weiteres wieder herauslaufen kann. Eventuell werden auch die Öffnungen nach dem Einführen der Leitungen mit Glaserkitt abgedichtet. Die Schaltachsen werden durch Stopfbuchsen aus dem Gehäuse geführt. Um einen sicheren Abschluss der Leitungen, insbesondere bei Schiffsinstallationen zu erzielen, werden Stoffbuchsen verwendet, deren Packmaterial sich dicht an den äusseren Umfang der Leitungen anlegt. Fig. 111 zeigt einige derartige Anordnungen.

Eine andere Ausführung wird von Schuckert gebaut (Fig. 113). Dieser Apparat setzt sich zusammen aus dem normalen Schalter und einer in der Mitte ausgesparten Unterlagscheibe aus Stein. Eine darüber gestülpte Blechkapsel dichtet mittels Gummiringes die beiden Steinsockel gegeneinander und den Schalter nach aussen ab. In der Fabrik werden in die Schalter Okonitdrahtenden eingezogen und die Hohlräume mittels einer Spritze unter Druck mit Glaserkitt angefüllt. Für Räume, in welchen saure Gase entstehen, z. B. Gärkeller und dergleichen, erhalten diese Schalter anstatt Kappen aus Eisen, solche aus Deltametall.



Fig. 113.

Statt der üblichen Eisengehäuse zum Schutz der Schalter in feuchten Räumen oder im Freien werden von Siemens & Halske die

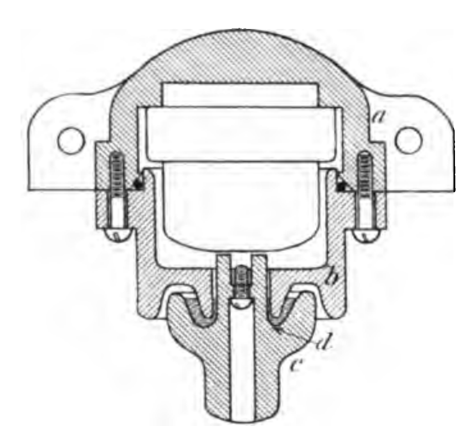


Fig. 114.

in Fig. 114 gezeichneten Schutzgehäuse nach dem Gebrauchsmuster No. 188113 verwendet. Der glockenförmige Hohlkörper *a*, der in der Regel aus Porzellan hergestellt wird, wird so an der Wand befestigt, dass seine Öffnung nach unten steht. Innerhalb desselben wird ein gewöhnlicher Schalter derart befestigt, dass seine Drehachse ebenfalls nach unten gerichtet ist. Zum Abschluss des Hohlraumes dient eine Kappe *b* aus Porzellan, welche mit Gummiringen gegen denselben abgedichtet wird. Auf die Drehachse des Schalters wird nunmehr der ebenfalls aus Isoliermaterial hergestellte Griff *c* gesteckt, welcher durch ein zylindrisches Loch der Kappe in den Hohlraum führt. Der Rand des Griffes ist am oberen Teil zu einer kreisförmigen Rinne *d* ausgebildet, in welche der untere Rand der Kappe weit hineinreicht. Die Rinne wird mit dickflüssigem Öl gefüllt, wodurch der Zwischenraum zwischen Griff und Kappe und somit der Zugang zum Gehäuseinneren gegen die Aussenluft derart abgeschlossen wird, dass ein Eindringen von Feuchtigkeit nicht möglich ist und die Bewegung des Schalters in keiner Weise behindert wird.

Es seien nun noch einige Installationsschalter für besondere Zwecke erwähnt, die vermöge ihrer Verwendungsart und ihrer Konstruktion berechtigtes Interesse verdienen.

276. Thür- und Zugschalter.

Die Thürkontaktschalter von Voigt & Haeffner (Fig. 115) haben den Zweck, eine Lampe nur so lange einzuschalten, wie der betreffende Raum erhellt werden muss, z. B. Lagerräume, Aborte. Ihre Klinkvorrichtung wird derart vom Öffnen und Schliessen der Thür abhängig gemacht, dass beim Betreten des Raumes, also beim Öffnen der Thür, der Stromkreis geschlossen, dagegen beim Verlassen (zweiten Öffnen) die Lampe wieder ausgeschaltet wird.


Fig. 115.


Fig. 116.

Zugschalter (Fig. 116) der gleichen Firma werden besonders bei der Installation von Schlafzimmern zum Zwecke einer bequemen Handhabung vom Bett aus, sowie in eleganten Räumen verwendet, wo ein Herabführen der Leitungen an der Wand vermieden werden soll, oder ihre Verlegung unter Putz nicht möglich ist. Durch die Anbringung eines weiteren oder mehrerer Hebel und Zugschnüre kann der Schalter so angeordnet werden, dass er von verschiedenen Stellen aus bedient werden kann.

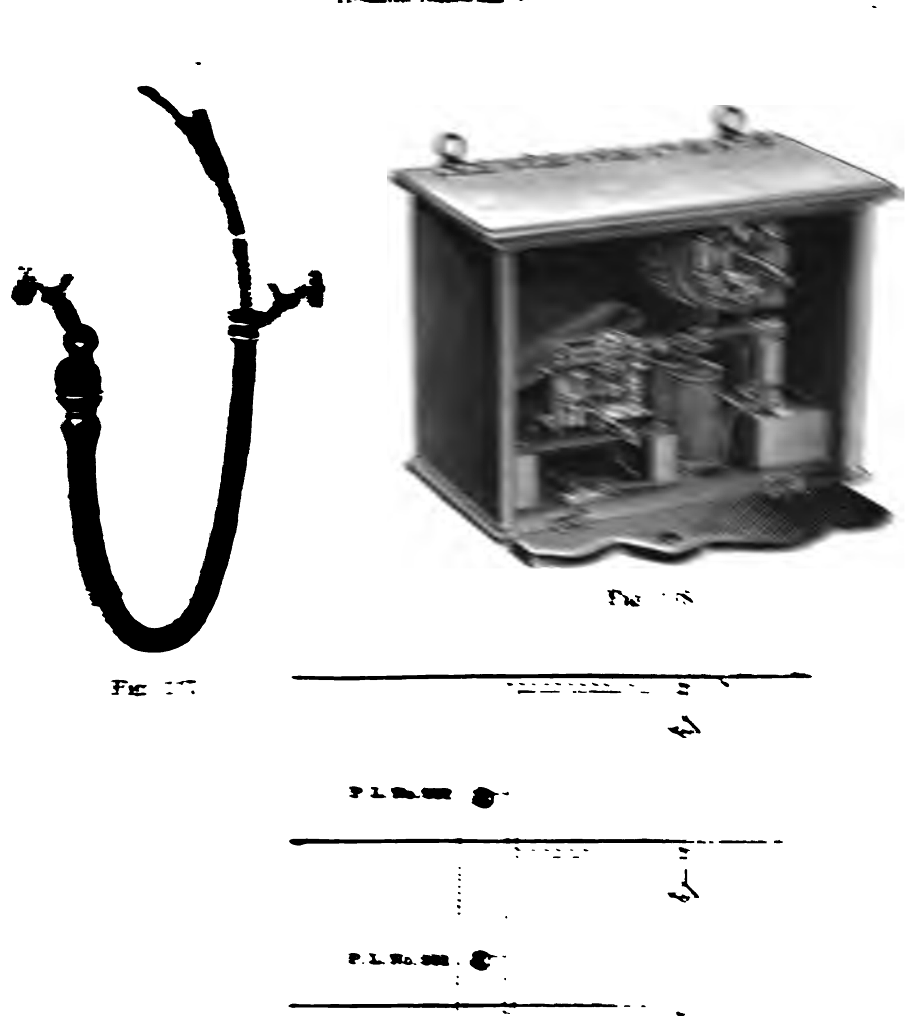


Fig. 117.

Fig. 118.

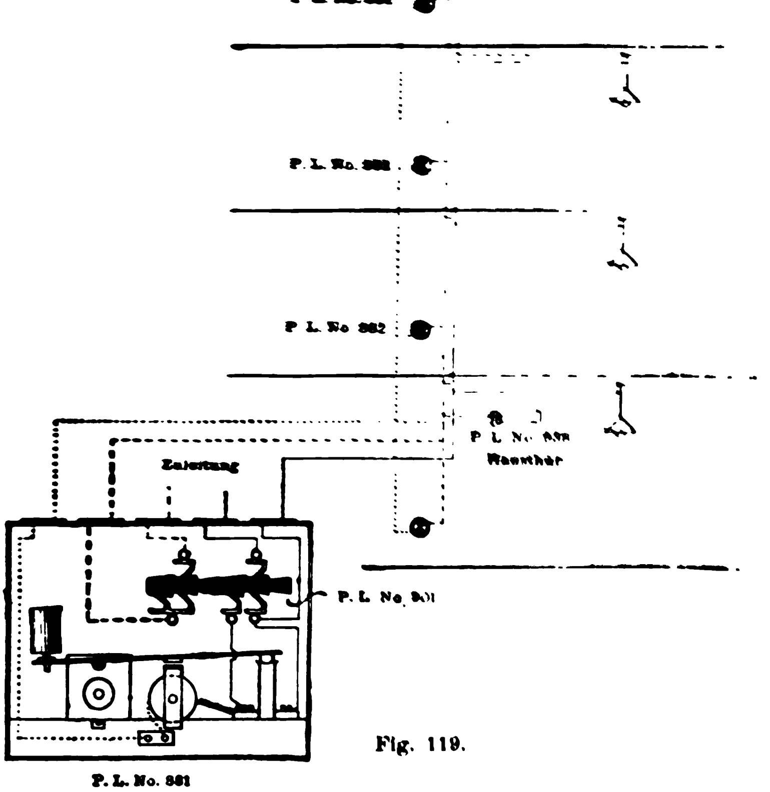


Fig. 119.

277. Spezialschalter der A. E.-G.

Der biegsame Ausschalter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (Fig. 117) besitzt innerhalb eines Hartgummigehäuses einen Quecksilberkontakt, welcher für 6 Amp. ausreicht. Derselbe ist für solche Räume bestimmt, in denen die Metallteile anderer Ausschalter stark angegriffen werden. Das Schaltgehäuse ist daher in eine wasser- und säurebeständige Hülle eingeschlossen. Die in der Figur gezeichnete Lage bedeutet die Einschaltestellung. Ist der Schalter ausgeschaltet, so hängt der Schlauch nach unten.

In grossen Städten wird in den Häusern auch für die Nachtzeit eine beschränkte und vorübergehende Beleuchtung geschaffen, die zeitweise eingeschaltet wird und unabhängig vom Willen des nach Thoresschluss Kommenden wieder ausgeschaltet wird. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft baut einen für derartige Zwecke geeigneten Schaltapparat (Fig. 118), der aus einem Uhrwerk, einem gewöhnlichen und einem elektromagnetischen Schalter besteht. Der erstere hat drei Stellungen, „die Tagesstellung", bei welcher der ganze Apparat ausgeschaltet ist, „die Abendstellung bis 10 Uhr", d. h. sämtliche Lampen brennen und schliesslich „die Nachtstellung", welche eine zeitweise Einschaltung des Apparates gestattet. Die elektromagnetische Einschaltung tritt selbständig in Funktion, sobald die Hausthür geöffnet wird oder sobald einer der im Schaltungsschema (Fig. 119) erkennbaren und auf jedem Treppenabsatz angebrachten Druckknöpfe niedergedrückt wird. Die Beleuchtung dauert normal 5 Minuten, jedoch können auch beliebig andere Zeitabschnitte eingestellt werden. Der Apparat schaltet dann selbstthätig wieder aus.

Auch für Reklamebeleuchtung kommt eine intermittierende Ein- und Ausschaltung in Frage, insbesondere, wo verschiedene Lampengruppen hintereinander eingeschaltet werden, um leuchtende Schriftzüge entstehen zu lassen.

Derartige selbstthätige Lampenausschalter werden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gebaut. Sie werden durch Federkraft angetrieben.[1])

278. Fernschalter.

Bei Einführung elektrischer Strassenbeleuchtung wird fast immer die Forderung gestellt, dass die gesamte Beleuchtung von einem Punkte oder zum mindesten von nur wenigen Stellen des Beleuchtungsgebietes ein- und ausgeschaltet werden soll.

In der Möglichkeit dieser Schaltungsweise liegt immer ein wesentlicher Vorteil der elektrischen Beleuchtung, weil dadurch die Möglichkeit gegeben wird, auch ausser der festgesetzten Beleuchtungszeit, gegebenenfalls z. B. bei Feuers- und Wassergefahr oder trübem Wetter, innerhalb kürzester Zeit die Strassenbeleuchtung in Thätigkeit zu setzen.

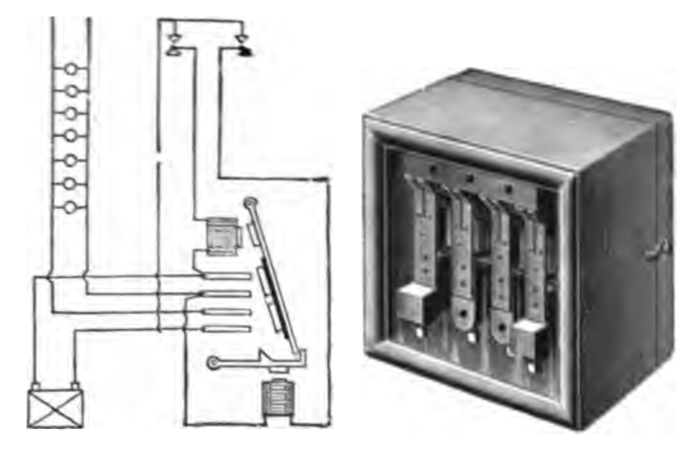
Bei der Strassenbeleuchtung mit Bogenlicht ist eine solche zentrale Schaltung gewöhnlich nicht schwierig durchzuführen. Bei Glühlichtbeleuchtung stellen sich jedoch, insbesondere in ausgedehnten Ortschaften, grosse Schwierigkeiten in den Weg. Bisher wurde eine Zentralausschaltung für Strassenglühlampen in der Weise durchgeführt, dass von den Ausschaltestellen ein oder mehrere Leitungsdrähte durch die Strassen geführt und an diese die Strassenlampen mit einem Pol angeschlossen wurden, während der andere Pol mit dem allgemeinen Beleuchtungsnetze in Verbindung gesetzt wurde. Bei dieser Anordnung muss der gesamte Strom der Strassenlampen die Ausschalteleitungen durchfliessen. In zerstreut gelegenen Orten, wo diese

1) Beschrieben in PESCHEL, Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen, Leipzig 1903, S. 80 u. 81.

Leitungen naturgemäss auch sehr lang werden, müssen bei dem bei Glühlichtbeleuchtung nur sehr geringen zulässigen Spannungsverluste auch die Leitungsquerschnitte sehr reichlich bemessen werden und dementsprechend werden die Anlagekosten sehr hohe sein.

Sehr ungünstig liegen in dieser Beziehung auch die Verhältnisse bei Zentralstationen, welche wegen der grossen Entfernungen mit einem indirekten Stromverteilungssystem arbeiten, z. B. mit ein- oder mehrphasigem Wechselstrom und Transformierung des hochgespannten Primärstromes auf niedrige Sekundärspannung. Das sekundäre Stromverteilungsnetz wird hier an vielen Punkten gespeist und erhält infolgedessen kleine Leitungsquerschnitte. Wollte man nun die Strassenbeleuchtung mittels der gewöhnlichen Ausschalteleitungen speisen, so müssten diese Leitungen, da die Stromwege in denselben um vieles länger werden als im Sekundärnetz, ganz bedeutend grössere Querschnitte erhalten, und der Kupferaufwand für die Strassenbeleuchtung allein würde den für das Sekundärnetz um ein Vielfaches übertreffen. Aus diesen Gründen werden häufig Fernschalter verwendet, die durch geringe Ströme bethätigt, am Verwendungsorte Schaltvorrichtungen für den Hauptstrom auslösen.

Bergmann & Co. bauen einen elektromagnetischen Fernschalter (Fig. 120), dessen Hauptzweck der ist, grössere Stromstärken aus der Ferne aus- und einschalten zu können, ohne gezwungen zu sein, die zu unterbrechende Stromleitung, die ihrer Strombelastung entsprechend grosse Querschnitte hat, nach der Ausschaltstelle zu führen. Dieser Fernschalter braucht keine getrennte Stromquelle, um ihn in Funktion zu setzen, sondern es wird von der Hauptstromleitung eine Abzweigung entnommen, welche direkt an den Ausschalter und Taster angeschlossen wird. Der zum Einschalten erforderliche Strom beträgt 0,1 Amp. — Es kann eine beliebige Anzahl von Tastern an ein und denselben Schalter angeschlossen werden, so dass ein und dieselbe Lampengruppe von verschiedenen Orten ein- und ausgeschaltet werden kann.


Fig. 120.

Der elektromagnetische Fernschalter findet eine hübsche Verwendung z. B. bei Beleuchtung der Fahrwege einer inmitten einer Parkanlage gelegenen Villa. Durch Anbringen eines Tasters im Hause sowohl als auch am Parkeingang, kann man die Beleuchtung der Fahrwege beliebig von jedem der beiden Orte ein- oder ausschalten, so dass die Beleuchtung nur während der thatsächlichen Benutzung der Wege eingeschaltet zu sein braucht.

Banken und sonstige Geschäftshäuser, deren Fenster und Thüren durch elektrische Alarmvorrichtungen gesichert sind, können durch Anschluss des elektromagnetischen Fernschalters ihre Sicherheit noch dahin ergänzen, dass

beim Öffnen einer Thür oder eines Fensters nach Geschäftsschluss gleichzeitig mit dem Ertönen des Alarmsignales die gesamte elektrische Beleuchtung automatisch in Funktion tritt.

Zum automatischen Ein- und Ausschalten von Elektromotoren, welche zum Antrieb von Pumpwerken bestimmt sind, eignet sich der elektromagnetische Fernschalter ganz besonders. Durch einen im Wasserbehälter angebrachten Schwimmer wird durch den Fernschalter der Elektromotor selbstthätig ein- und ausgeschaltet, je nachdem der Schwimmer den niedrigsten oder höchsten Wasserstand erreicht hat.

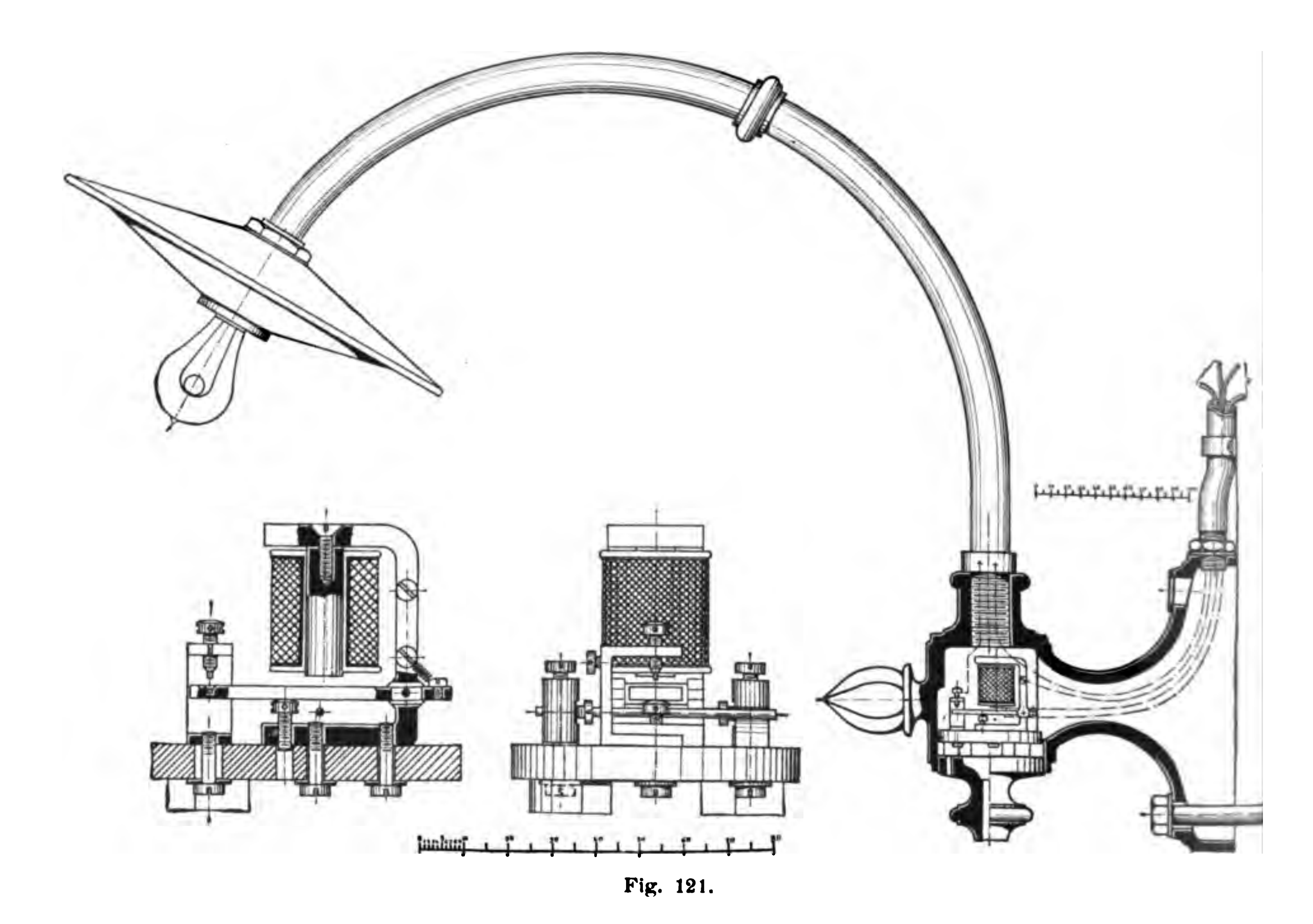


Fig. 121.

Eine sehr günstige Einrichtung zur Fernschaltung von Glühlampen wird von Siemens & Halske ausgeführt. Sie besteht darin, dass in den besonders ausgebildeten Sockel der Lampenträger ein Schwachstrom-Relais eingebaut wird (Fig. 121), welches den Stromkreis der betreffenden Lampen einschaltet und unterbricht. Diese Relais benötigen nur etwa 0,2 Amp. und werden etwa 30 bis 50 derselben hintereinander geschaltet, wobei auf die richtige Zusammenfassung der einzelnen Lampen, z. B. ganznächtige und halbnächtige, Rücksicht genommen werden muss. Entsprechend dem geringen Stromverbrauch der Relais kann auch der Querschnitt der Relaisleitungen ein ganz geringer sein. Diese Leitungen werden nach einer Zentralstelle geführt, von wo die Lampen eingeschaltet werden können. Die Rückleitung wird, wenn

die Relaisleitungen in einer Richtung zurücklaufen, für mehrere Kreise gemeinsam gewählt. —

Da bei derartigen Einrichtungen die Leitungen sich über viele Kilometer zu erstrecken pflegen, so wächst allerdings die Blitzgefahr. Die Anbringung besonderer Schutzvorrichtungen gegen atmosphärische Entladungen an jedem Relais könnte der hohen Kosten wegen nicht in Frage kommen. Durch einfache Nebenschliessung eines induktionsfreien Widerstandes zur Wicklung des Elektromagneten werden in der einfachsten Weise die günstigsten Resultate herbeigeführt. Als Widerstand wird Graphit, und zwar in Gestalt von Bleistiftminen benutzt.

In anderer Weise wird bei dem Fernausschalter der Maschinenfabrik Esslingen die Schaltvorrichtung bethätigt. Letztere besteht auch in diesem Falle aus einer Spule, jedoch ist der Anker kreuzförmig ausgebildet; auf demselben ist ein gewundenes Blech angebracht, welches beim Ein- bezw. Ausschalten des Stromes in der Relaisleitung die Drehung zweier Kontaktstifte immer um 90° einleitet, wodurch der Lampenstromkreis, der vom Relaiskreis unabhängig ist, eingeschaltet oder ausgeschaltet wird. Die Einschaltung der Relaisleitungen erfolgt durch Druckknöpfe.

Steckkontakte.

279. Verwendungszweck und Material.

Diese Apparate dienen dem weitgehenden Bedürfnis, den Leitungen an den verschiedensten Stellen Energie in bequemer und sicherer und dabei leicht lösbarer Art zu entnehmen. Steckkontakte sind ebenso wichtig für Wohnräume, wo ein transportabler Beleuchtungskörper bald hier bald da verwendet werden soll, wie für industrielle oder landwirtschaftliche Betriebe, in welchen fahrbare Elektromotore an verschiedenen Stellen angeschlossen werden sollen.

Für die Konstruktion der Steckkontakte sind dieselben Gesichtspunkte massgebend, die wir bereits bei den Installationsschaltern besprochen haben. Es tritt bei diesen jedoch noch der Umstand dazu, dass die Kontaktstücke, in welche der Stecker eingeführt werden soll, so angeordnet werden müssen, dass ihre zufällige Berührung nicht möglich ist. In der Regel wird dies dadurch erreicht, dass sie tief in das Isoliermaterial eingebettet werden. Das hierzu verwendete Material darf aber nicht nur nicht brennbar sein, sondern es darf auch bei einer Temperatur von 300° C. keine Formenveränderung erleiden.[1])

Das verwendete Material ist meistens Porzellan. Für die Stecker wird dasselbe verwendet, es kann jedoch auch Hartgummi gewählt werden.

280. Sicherungen in Anschlussdosen.

Während im allgemeinen für eine Gruppe von Lampen nur eine Sicherung nötig ist, machen es die besonderen Gefahren, denen die beweglichen Leitungen ausgesetzt sind, erforderlich, dass jede Anschlussdose besonders und allpolig gesichert wird. Diese Sicherungen[2]) sind am festen Teil anzubringen, und zwar können bis zu Spannungen von 500 Volt die Sicherungen in der Dose selbst untergebracht sein. Es ist dies aber nicht unbedingt erforderlich; ebensogut kann eine allpolige Sicherung unmittelbar vorgeschaltet werden. Werden jedoch Steckkontakte für eine höhere Spannung wie 500 Volt verwendet, so müssen die Sicherungen ausserhalb der Dose montiert werden. Steckkontakte dürfen für Spannungen über 1500 Volt nicht verwendet werden.

1) Vgl. Vorschriften für die Konstruktion u. Prüfung von Installationsmaterialien § 32.
2) Vgl. S. 360 dieses Bandes.

Die in Steckdosen untergebrachten Sicherungen, welche für Spannungen unter 250 Volt bestimmt sind, müssen ebenso wie jede andere Sicherung unverwechselbar sein, so dass das irrtümliche Einsetzen zu starker Einsätze sicher vermieden wird.

281. Unverwechselbarkeit der Anschlussdosen.

Alle Stecker müssen so eingerichtet sein, dass sie in Dosen, welche für höhere Stromstärken bestimmt sind, nicht eingeführt werden können, sie müssen also unverwechselbar sein. Hierdurch wird vermieden, dass Leitungen und Apparate, welche nur für schwache Ströme bestimmt sind, an stärker gesicherte Dosen angeschlossen werden, wodurch der angeschlossene Apparat nicht genügend gesichert wäre.

Diese Unverwechselbarkeit wird von SIEMENS & HALSKE nach einem von HUNDHAUSEN angegebenen und durch Patent No. 120 570 geschützten Prinzip

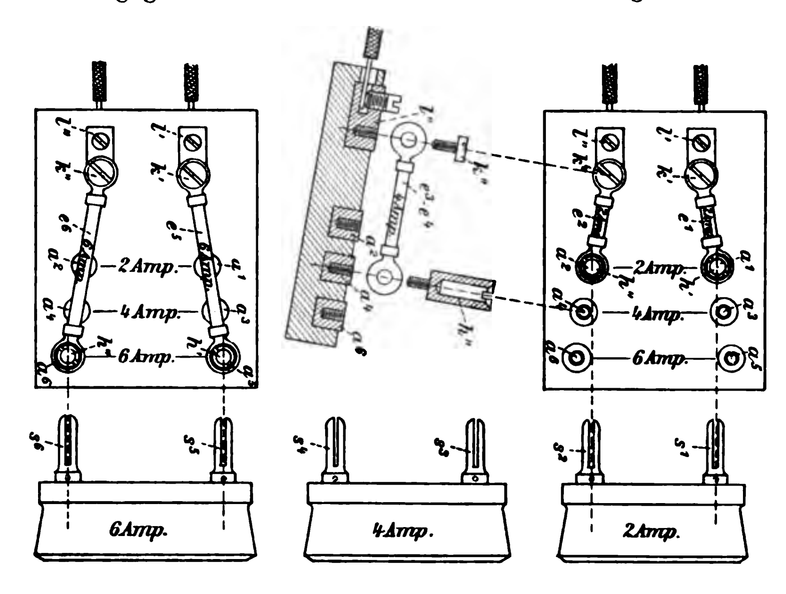


Fig. 122.

hergestellt. Es wird dies erreicht, wie der folgende Wortlaut des Patentes sagt. „Steckdosen mit Schmelzsicherungen für Anschlussstöpsel, die je nach dem Stromverbrauch der anzuschliessenden Verbrauchskörper verschieden sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Anschlussstelle der Steckdose unter Beibehaltung eines und desselben Grundkörpers lediglich durch Einfügung verschiedener der betreffenden Stromstärke angepassten Sicherungen derart eingestellt werden kann, dass die Anschlussstöpsel für eine bestimmte Stromstärke nur mit einer entsprechend gesicherten Anschlussdose verbunden werden können.“

Die der Patentschrift entnommene Fig. 122 erläutert das Konstruktionsprinzip. Diese Anschlussdosen zeichnen sich auch noch dadurch aus, dass eine Unverwechselbarkeit der Pole dadurch gewährleistet ist, dass der eine Stift eine seitliche Abflachung besitzt, während im Deckel der Dose ein mit einer entsprechenden Öffnung versehenes Durchsteckblech angebracht ist, der andere Stift hingegen in der üblichen runden Weise ausgeführt wird. Dies ist wichtig besonders für den Fall, dass in Dreileiteranlagen der geerdete Mittelleiter in der Installation durchgeführt ist und sowohl an die Dose als auch den Stecker direkt angeschlossen wird.





Fig. 123.

Bei der in Fig. 123 wiedergegebenen Anschlussdose der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft wird die Unverwechselbarkeit der Pole durch verschieden starke Stifte und zwar dadurch erreicht, dass sich, wie aus der Figur erkennbar, der eine Stift in der Dose statt am Stecker befindet.

Prüfung der Steckkontakte.

Ebenso wie die Schalter müssen die Steckkontakte eine Prüfung aushalten, die sich sowohl auf ihre mechanische Festigkeit, als auch auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Durchschlagen und bei Apparaten über 6 Amp. auch noch auf ihre Erwärmung bei Strombelastung bezieht.[1])

282. Elektrische Prüfung.

„Der Steckkontakt muss bei eingesetztem Stecker eine Wechselspannung von 1000 Volt über die Betriebsspannung gegen die Befestigungsschrauben 5 Minuten lang aushalten und ebenso gegen eine an seinem Griff angebrachte Stanniolumwicklung.

Bei ausgezogenem Stecker müssen die Kontakthülsen gegeneinander und ebenso die Kontaktstifte gegeneinander 1000 Volt Wechselspannung über die Betriebsspannung 5 Minuten lang aushalten.

283. Mechanische Prüfung.

Um die mechanische Brauchbarkeit der Steckkontakte zu prüfen, ist der Stecker 100 mal stromlos einzusetzen. Nach dieser Probe muss er sich ebenso sicher einschieben lassen und ebenso fest sitzen wie vorher.

284. Strombelastung der Steckkontakte.

Steckkontakte über 6 Amp. sind eine Stunde lang mit dem Anderthalbfachen des auf ihm verzeichneten Betriebsstromes zu belasten und darf dabei nicht so heiss werden, dass der Stift unmittelbar nach dem Herausziehen reines Bienenwachs zum Schmelzen bringen kann."

Kleinere Anschlussdosen.

285. Verriegelung stromdurchflossener Steckkontakte.

In vielen Fällen, insbesondere wenn die Steckkontakte höhere Stromstärken führen, ist es keineswegs wünschenswert, dass die Stecker herausgezogen werden, solange sie Strom durchfliesst, da infolge der hierbei auftretenden Funkenbildung eine Gefährdung des Bedienenden nicht ausgeschlossen ist und die Kontaktstellen durch den Lichtbogen verbrennen. Aus diesem Grunde wird vielfach grosser Wert darauf gelegt, dass die Stecker solange verriegelt bleiben, als sie stromdurchflossen sind.

Bergmann & Co. haben derartige Steckkontakte auf den Markt gebracht, welche mit Ausschaltern versehen sind (Fig. 124). Die Schaltwelle trägt den Griff und eine Sperrscheibe, die sich im eingeschalteten Zustande über den Stöpsel legt, so dass dieser nicht herausgezogen werden kann. Um dies zu ermöglichen, muss erst ausgeschaltet werden. Die Lage der Sperrscheibe lässt jederzeit erkennen, ob der Stromkreis geschlossen oder offen ist. Nur im letzteren Falle aber kann der Stecker bewegt werden. Die vorstehend beschriebene Einrichtung besteht bei den Kontakten für 1,5 Amp. 250 Volt, während die grössere Type für 6 Amp. mit einer Schmelzpatrone versehen ist. Bei dieser Type (Fig. 125) wird der Stecker nicht durch Überlagerung

1) §§ 36, 37 u. 43 der Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterialien.

einer Schaltscheibe festgehalten, sondern durch eine kleine Welle, welche in das mittlere Kontaktstück reicht und bei eingeschalteter Leitung ein Herausziehen verhindert.

In anderer Art löst die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft die Aufgabe, indem sie den Stecker als Schaltergriff verwendet, der, wenn der Schalter eingeschaltet ist, verriegelt wird. Erst wenn die Schalteinrichtung wieder ausgeschaltet ist, kann der Stecker wieder herausgezogen werden (Fig. 126).

286. Normale Anschlussdosen für Hausinstallation.

Eine normale Steckdose mit doppelpoligen Sicherungen von BERGMANN & Co. zeigt Fig. 127, während Fig. 128 einen Apparat derselben Firma darstellt,



Fig. 124.

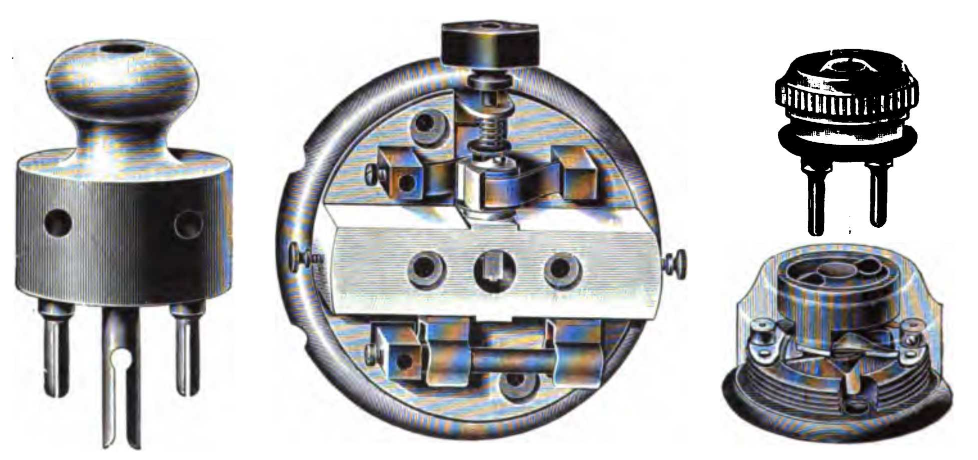


Fig. 125. Fig. 126.

welcher gestattet, von jeder Edisonfassung Strom abzunehmen; auch in diesem befindet sich eine doppelpolige Sicherung.

Eine sehr sichere Anschlussdose liefern SIEMENS & HALSKE für Ströme bis 10 Amp. und 500 Volt, dieselbe wird in unbenutztem Zustande mit einer Verschlusskapsel verdeckt (Fig. 129). In der gleichen Art wie diese ist aber der Stöpsel selbst ausgebildet, so dass weder im stromlosen Zustande, noch während des Betriebes eine Berührung stromführender Teile möglich ist.

Bei den Kontaktvorrichtungen von MIX & GENEST findet die Einführung der Leitungen in die in Fig. 130 dargestellte Anschlussdose für 6 Amp. nicht von hinten, sondern seitlich mit ihrer Isolierung durch Kanäle statt. Der Anschluss erfolgt in Stromschlussbuchsen mit Klemm-

Fig. 127.

Fig. 128.

schrauben. An der hinteren Fläche dieser Anschlussdose befinden sich keine Metallteile, soweit sie keine Sicherung enthalten; besondere Isolierscheiben sind daher für die Montage unnötig.

Die Anschlussdosen mit doppel-

Fig. 129.

Fig. 130.

poliger Sicherung sind für Sicherungseinsätze für 1, 2, 4 und 6 Ampere eingerichtet. Um einem Verwechseln dieser Sicherungseinsätze, deren Länge für die verschiedenen Stromstärken um je 2 mm steigt, vorzubeugen, werden die Enden von Schrauben begrenzt, welche verschiedene Kopfdurchmesser haben und in die Stromschlussstücke der Dosen eingeschraubt sind. Ein zuverlässiges Funktionieren der Sicherung wird dadurch erreicht, dass nur ein kurzes und auf seine Länge genau abgegrenztes Stück des in Gips eingebetteten Silberdrahtes durchschmelzen kann. Die Verbindungsstöpsel für maximal 6 Amperes (Fig. 131) besitzen mit dem Porzellankörper festverschraubte Stromschlussstifte, in welche die blanken Enden der Zuleitungsschnüre mittels Schrauben festgeklemmt

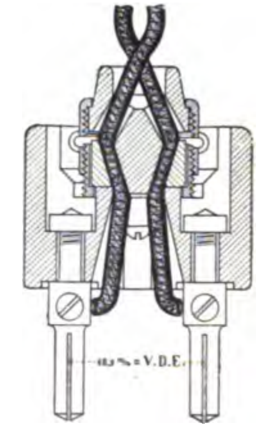


Fig. 131.

werden.[1]) Für den Schutz der Verbindungsstellen gegen Zug dient eine Schnurklemme, welche jedoch so eingerichtet ist, dass die Leitungen nicht aufeinander gepresst werden. Das Festziehen der Überwurfmutter geschieht mit einem Spezialschlüssel.

Anschlussdosen für Kraftübertragung.

Hier handelt es sich zumeist um die Übertragung stärkerer Ströme; es darf daher die Aufhebung des Kontaktes nur im stromlosen Zustand erfolgen.

287. Lösbare Kontakte für fahrbare Kräne.

Bei der Verwendung fahrbarer Kräne werden, wenn sich eine Zuführung des Stromes durch blanke Schleifleitungen aus irgend einem Grunde nicht

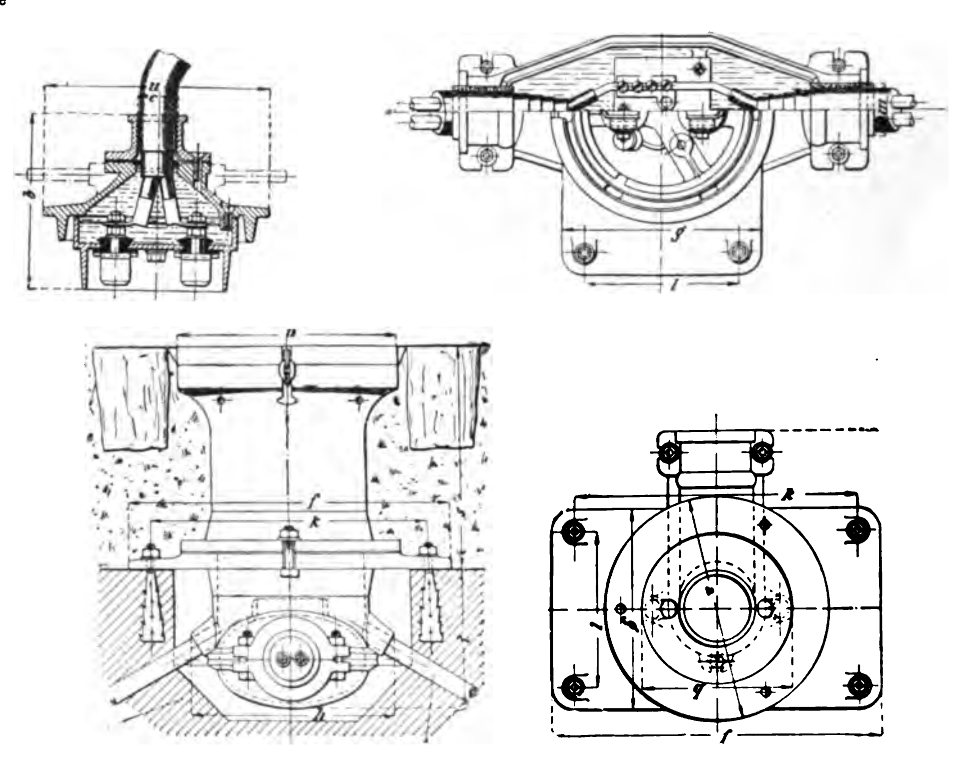


Fig. 132.

ermöglichen lässt, Erd- oder Wandanschlusskästen verwendet, die von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft nach der in Fig. 132 wiedergegebenen Zeichnung gebaut werden.

Die Kabelmuffe wird in der üblichen Weise montiert und ausgegossen.[2]) Sie wird so tief gelegt, dass die obere Fläche der Anschlussdose mit dem Strassenpflaster abschneidet. Zweckmässig ist es, zumal wenn die Montage im Fahrdamm erfolgt, dass die Muffen in ein gemauertes oder Betonfundament eingesetzt werden.

1) Auf fehlerhafte Stecker anderer Konstruktion weist v. GAISBERG hin, ETZ 1904, S. 147.

2) Vgl. Hdb. VI, 2.

Wenn der Erdanschlusskasten nicht gebraucht wird, ist er durch einen Deckel wasserdicht verschlossen. Bei eingesetztem Stecker dichtet dieser die obere Öffnung so ab, dass Wasser nicht eindringen kann. Fig. 133 zeigt einen Kasten mit eingesetztem Stecker.



Fig. 133.

Führen die Kräne an Gebäuden entlang, so können Wandanschlusskästen verwendet werden, in die das Zuführungskabel von unten eingeführt wird (Fig. 134), während der Kontaktstöpsel mit dem beweglichen Leiter verbunden wird.

Diese Einrichtung ist so getroffen, dass der Kontaktstöpsel weder eingeschoben, noch herausgezogen werden kann, wenn nicht der Deckel des Kastens geöffnet ist. Mit dem Deckel ist aber ein Schalthebel mit Momentschaltung derart verbunden, dass die Verbindung zum Kontaktstöpsel bei geöffnetem Deckel unterbrochen ist und dass andererseits bei geschlossenem Deckel der Stöpsel durch die Kontaktmesser mechanisch festgehalten wird. Dadurch ist erreicht, dass Stromschluss resp. Öffnen des Stromkreises nicht durch Bethätigung des Stöpsels, sondern nur durch Öffnen des Deckels, also mittels des dazu bestimmten Schalters erfolgen kann.



Fig. 134.

288. Lösbare Kontakte für landwirtschaftliche Betriebe.

In landwirtschaftlichen Betrieben ist das Bedürfnis vorhanden, bequeme Stromanschlussstellen auf freiem Felde zu haben. In der Regel werden zu diesem Zwecke Anschlussdosen in besonderen Kästen montiert, welche sie gegen Witterungseinflüsse schützen. Schuckert & Co. haben in einer derartigen Anlage sogenannte Hängekontakte verwendet, an langen Holzstangen befestigte Messinghaken, welche über kurze, von Isolatoren getragene und dauernd am Mast befestigte Kupferschienen gehangen

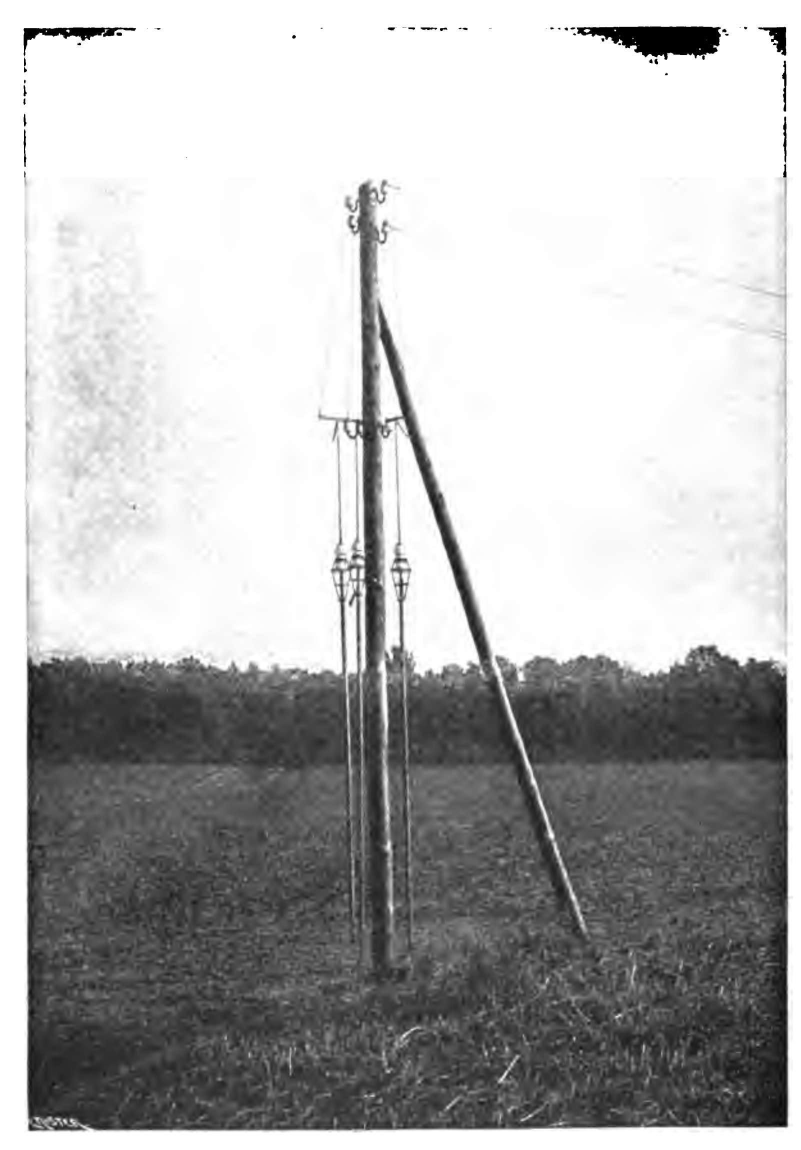


Fig. 135.

werden. Die Kontaktschienen sind in solcher Höhe montiert, dass sie von Menschen ohne besondere Hilfsmittel nicht erreichbar sind (Fig. 135).

Allgemeine Anordnung der Schalter und Anschlussdosen.

Wir haben nun noch die äussere Anordnung der Installationsschalter, ihre Anbringung und die durch ihre Verwendung möglichen Schaltungen zu besprechen.

289. Kappen. Die Schalterkappen müssen nach den Sicherheitsvorschriften (§ 11 c) Gehäuse aus nichtleitenden Materialien haben, oder, wenn sie aus Metall bestehen, mit einer haltbaren Isolierschicht überzogen oder ausgekleidet sein. In der Regel werden die Kappen der meisten Installationsschalter aus Pappe

hergestellt, die imprägniert, mehrfach geschliffen und lackiert werden. Wo jedoch noch Metallkappen verwendet werden, werden sie innen mit Pappe ausgekleidet, aussen auch wohl mit einer Gummischicht überzogen.

290. Einführung der Leitungen in die Schalter.

Die Bedingung, dass Leitungen im Handbereich durch Verkleidungen geschützt werden müssen (§ 26 b der Sicherheitsvorschriften), führte dazu, dass alle zu Schaltern, die ja meistens im Handbereich angeordnet werden müssen, führenden Leitungen in Rohr verlegt werden. Ursprünglich gestaltete sich hierbei der Anschluss der Rohre an die Schalter sehr ungünstig, so dass man, so nahe man die Rohre auch an den Sockel heranstiess, die Leitungen stellenweise frei in den Schalter einführen musste. Hauptsächlich bei denjenigen Schaltertypen liess sich dies gar nicht vermeiden, deren Einführungsöffnungen an beiden Seiten angeordnet waren. In den meisten Fällen war dies jedoch mehr ein Schönheitsfehler, da die Gefahr einer Beschädigung



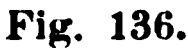


Fig. 136.



Fig. 137.

der kurzen Leitungsstücke nur selten zu befürchten war. Indessen half man sich zunächst so gut es ging durch Unterlegen von Holzrosetten, denen man einen Einschnitt zur Einführung des Rohres gab. Zurzeit wird der Anschluss auf die verschiedenste Art erreicht, zum weitaus grössten Teil durch Unterlegen besonders ausgebildeter Scheiben, während bei einigen Schaltertypen Sockel oder Kappe so ausgebildet werden, dass die Rohre direkt eingeführt werden können. Die Frage, warum nicht alle Schalterkonstruktionen zum Anschluss von Rohren eingerichtet werden, da ja Rohre der oben erwähnten Vorschrift entsprechend meistens verwendet werden müssen, muss dahin beantwortet werden, dass man dies sicher thun würde, wenn Deutschland die im Inland fabrizierten Schalter alle selbst verwenden würde. Die meisten Schalter gehen aber nach dem Ausland, wo unsere weitgehenden Vorschriften nicht bestehen.

Schuckert & Co. verwenden gewöhnliche Schalter und setzen, wie Fig. 136 zeigt, einen Rohrstutzen an, der am Sockel festgeschraubt wird und an dem

nunmehr das Rohr angeschlossen werden kann. In anderen Fällen werden, wie Fig. 137 zeigt, Rosetten untergelegt.

Für Räume, in welchen es weniger auf schönes Ansehen als auf Schutz gegen mechanische Einflüsse ankommt, dient die Ausführung Fig. 138. Die Schalter sitzen auf einer Eisenplatte, an die entweder ein, oder wenn die

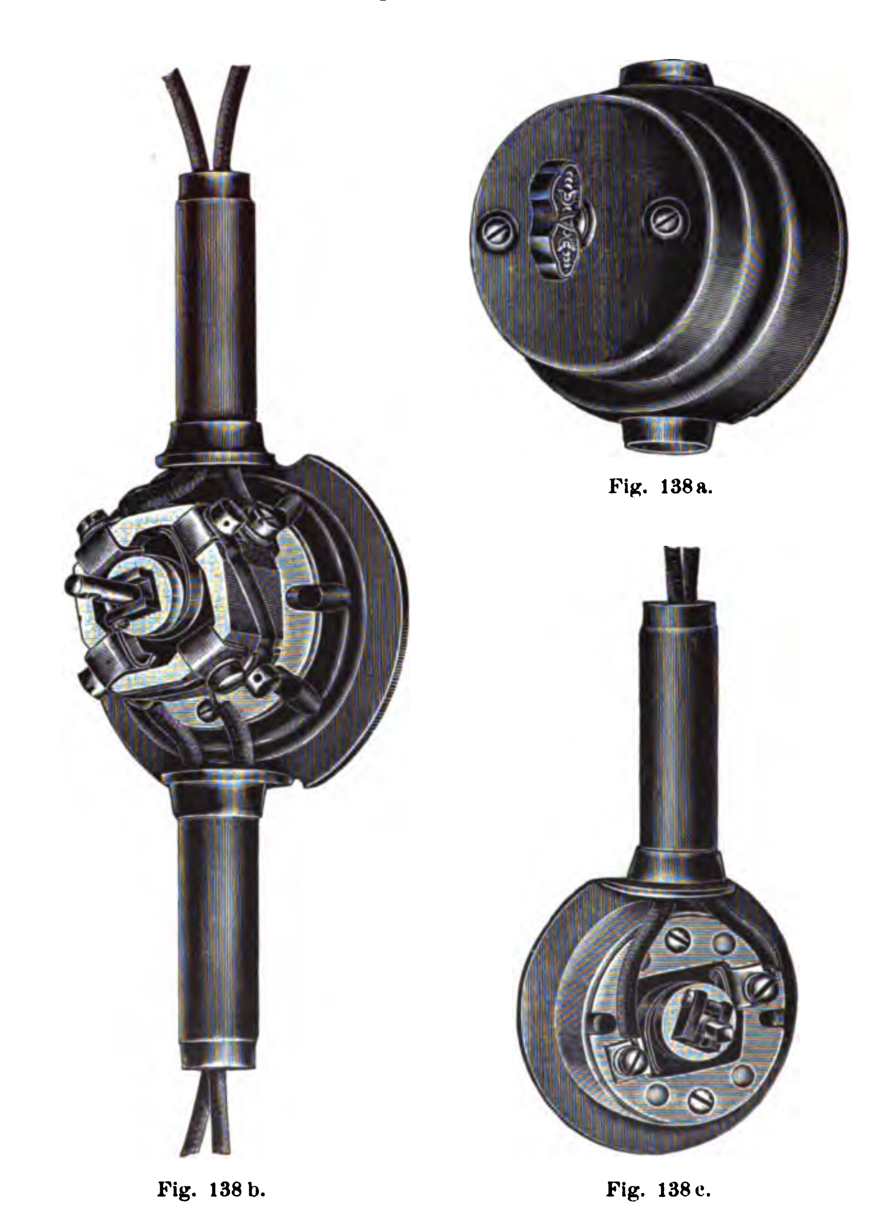


Fig. 138 a.

Fig. 138 b.

Fig. 138 c.

Leitungen durchgehen sollen, auch zwei Lappen angebogen werden, die zu Stutzen ausgezogen sind. Die Schalter werden mit Blechkapseln abgedeckt.

Ausser den vorstehenden Konstruktionen verwenden Schuckert & Co. auch noch Rohrdosen, in welche die Schaltert montiert werden und die des näheren noch beschrieben werden.

Siemens & Halske verwenden Unterlagscheiben aus Porzellan, die durch eine konstruktiv gut durchgearbeitete Form vielseitige Anwendung gestatten. Fig. 139 giebt diese wieder. Wie hieraus zu ersehen, ist eine Scheibe oben zu einer rechteckigen Einführungsöffnung ausgebildet, in welche ein Einsatz, der ebenfalls aus Porzellan besteht, passt. Soll nun zum Schalter ein Rohr geführt werden, so wird dieser Einsatz eingekittet und in diesen das Rohr, wie Fig. 140 zeigt, hereingestossen. Müssen zwei Rohre verwendet werden, so fällt der Einsatz weg und die Ausführung erhält die Form, wie sie Fig. 141 zeigt. Die Unterlagscheiben werden gleichzeitig und mit den gleichen Schrauben wie der Schalter befestigt.

Schwieriger gestaltet sich der Anschluss bei wasserdichten Schaltern, aber auch hier ist von Siemens & Halske eine universelle Lösung gefunden. Die Unterlagscheibe ist ähnlich gestaltet wie die vorstehend beschriebene und ist gleichzeitig als Schaltersockel ausgebildet, auf dem die Kappe festgeschraubt wird. Beide Teile bestehen aus Gusseisen. Die Einführungsöffnung wird durch eine schmiedeeiserne Verschlussplatte in den Abmessungen 30 × 63 × 10 mm verschlossen und gegen das Schalterinnere durch eine



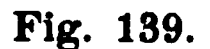


Fig. 139.



Fig. 140.



Fig. 141.

Gummischeibe abgedichtet. Die Platte wird ohne Bohrungen geliefert, so dass je nach den auf dem Montageplatz eintretenden Erfordernissen eine beliebige Anzahl von Löchern beliebigen Durchmessers gebohrt werden kann. Nachdem die Platte an den Rohren, in diesem Falle meistens Stahlpanzerrohr, befestigt ist, wird der Schalter darunter geschoben und durch vier Befestigungsschrauben mit ihr verbunden (Fig. 142).

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft versieht für den Anschluss von Rohren ihre Schalterkappen mit Stutzen, die für ein oder zwei Rohre verschieden ausgebildet sind (Fig. 143). Die Rohransätze können je nach Bedarf links, wie Figur zeigt, oder auch in der Mitte oder auf der rechten Seite der Kappe angeordnet werden.

Unterlagscheiben sind aber häufig auch dann erforderlich, wenn die im Schaltersockel untergebrachten Einführungsöffnungen so nahe der Wand liegen, dass hierdurch nicht mehr der erforderliche Abstand der Leitung von der Wand innegehalten werden kann. Dies hat allerdings nur dann Bedeutung, wenn die Leitungen frei zum Schalter führen, also an Stellen, wo sie mechanischen Beschädigungen ausgesetzt sind oder wo die offen verlegten Leitungen durch eine besondere Verschalung geschützt werden sollen. In diesem Fall muss durch die erhöhte Anbringung des Schalters dem Mangel abgeholfen werden.

291.
Schalter unter Putz.

Vielfach tritt das Bedürfnis auf, Schalter derart unter Putz anzubringen, dass nur der Griff heraussieht. Hauptsächlich ist dies in solchen Räumen der Fall, wo Rücksicht auf besonders reiche Einrichtungen genommen werden muss. Dass in solchen Fällen auch die Leitungen dem Auge entzogen werden, bedarf nicht besonderer Erwähnung. Die Schalteranordnung innerhalb der



Fig. 142.





Fig. 143.

Wand hat wenig Einfluss auf die Schalterkonstruktion an sich. Sie bedingt nur eine andere Anordnung des Gehäuses; aber auch von diesem wird zuweilen ganz abgesehen und der Schalter in eine Maueraussparung gesetzt, die durch irgend einen Verschluss, aus dem nur der Griff hervorragt, abgeschlossen wird. Da die Leitungen innerhalb der Wand stets in Rohr verlegt werden, so ist die einfachste Lösung der Frage, den Schalter in eine Rohrdose zu setzen, die einen guten Rohranschluss sichert.

Diese Art zeigt Fig. 144 (Schuckert), und zwar die eine Ansicht offen vor dem Einbau, die andere nach dem Einbau.

Bei allen diesen in die Wand eingelassenen Schaltern ist es erforderlich, den Griff mit einem Schutz zu umgeben, durch welchen die Tapeten gegen Beschmutzen beim Schalten gesichert werden. Dies geschieht im vorliegenden Falle durch eine Glasscheibe, die auf den eigentlichen Dosendeckel, der übertapeziert wird, aufgeschraubt wird. Häufig werden Messingplatten nach Art der Abschlussbleche bei Glockenzügen verwendet, die aber wegen dieser Ähnlichkeit zu manchen Zerstörungen von Schaltern geführt haben. In ähnlicher Art werden für diesen Zweck Rohrdosen von Bergmann & Co. ausgeführt.



Fig. 144 a.



Fig. 144 b.

Siemens & Halske verwenden einen topfförmigen Steinguteinsatz, in welchem der Schalter montiert wird; die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft wählt die in Fig. 145 gekennzeichnete Anordnung, die sich von selbst erläutert.

Um Schalter in die Wand zu versenken, verwenden Hart & Hegemann, Hartford Co. eine eigenartige, in Fig. 146 wiedergegebene Konstruktion.



Fig. 145.

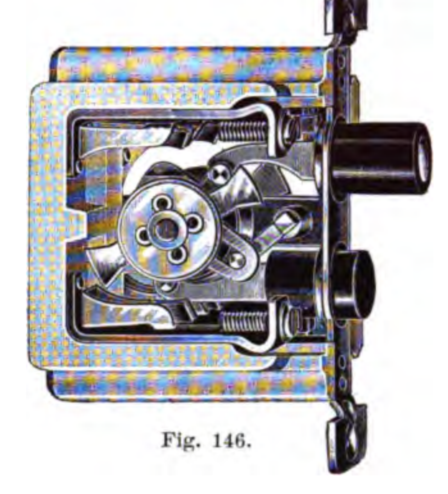


Fig. 146.

Dieselbe wird durch zwei Druckknöpfe bethätigt — nur diese treten über die Mauerfläche hervor —, von denen der eine vortritt, während der andere niedergedrückt wird. In der gezeichneten Stellung ist der Schalter bereit zum Einschalten.

Befestigung und Schaltung der Schalter und Anschlussdosen.

292. Befestigung auf besonderen Unterlagen.

In der Regel erfolgt die Befestigung auf allen möglichen Dübeln, die aus Holz und Metall in den verschiedensten Formen hergestellt werden.[1]

In vielen Fällen ist es aber erwünscht, insbesondere kleinere Installationsapparate, wie Schalter, Sicherungen und Anschlussdosen, nicht unmittelbar auf der Wand zu befestigen, sondern erst eine besondere Zwischenplatte unterzulegen, die ihrerseits auf irgend eine Art an der Wand befestigt ist und Bohrungen mit Gewinde enthält, deren Abstand so weit voneinander gewählt ist, dass sie mit den für die Befestigungsschrauben bestimmten Löchern im Sockel des Apparates übereinstimmen.

Siemens & Halske verwenden eine neue Form derartiger Anschraubplatten, die mit Hilfe eines Stahlnagels an der Wand befestigt wird. Es sei hierbei darauf hingewiesen, dass die Verwendung von zwei Nägeln, wie sie hier und da angewendet wird, nicht zweckmässig ist, da beim Festschlagen des einen der andere sich löst. Bei der Verwendung eines Nagels muss er aber viereckig ausgebildet werden und die Unterlagplatte eine entsprechende Öffnung besitzen, um ein Drehen der Platte zu verhindern. Bei gut zu einander passenden Querschnitten des Nagels und des eckigen Loches ist die Anschraubplatte genügend gegen Verdrehen gesichert, so dass beispielsweise

1) Vgl. Hdb. VI, 2.

der vermittels der Schraublöcher anzuschraubende Schalter ohne störendes Verdrehen seines Sockels gehandhabt werden kann. Die Art dieser Befestigung ist aus Fig. 147 ersichtlich.

Schuckert & Co. verwenden zu dem gleichen Zweck einen Stahlnagel mit breiter Platte (Fig. 148), auf welchem eine Eisenblechscheibe befestigt wird. In diese Scheibe sind Löcher eingestanzt, die mit einer Kompositionseinlage wieder ausgefüllt worden sind. Auf den Platten werden nunmehr die Schalter mittels zweier Schrauben befestigt. Die Befestigung erfolgt folgendermassen:

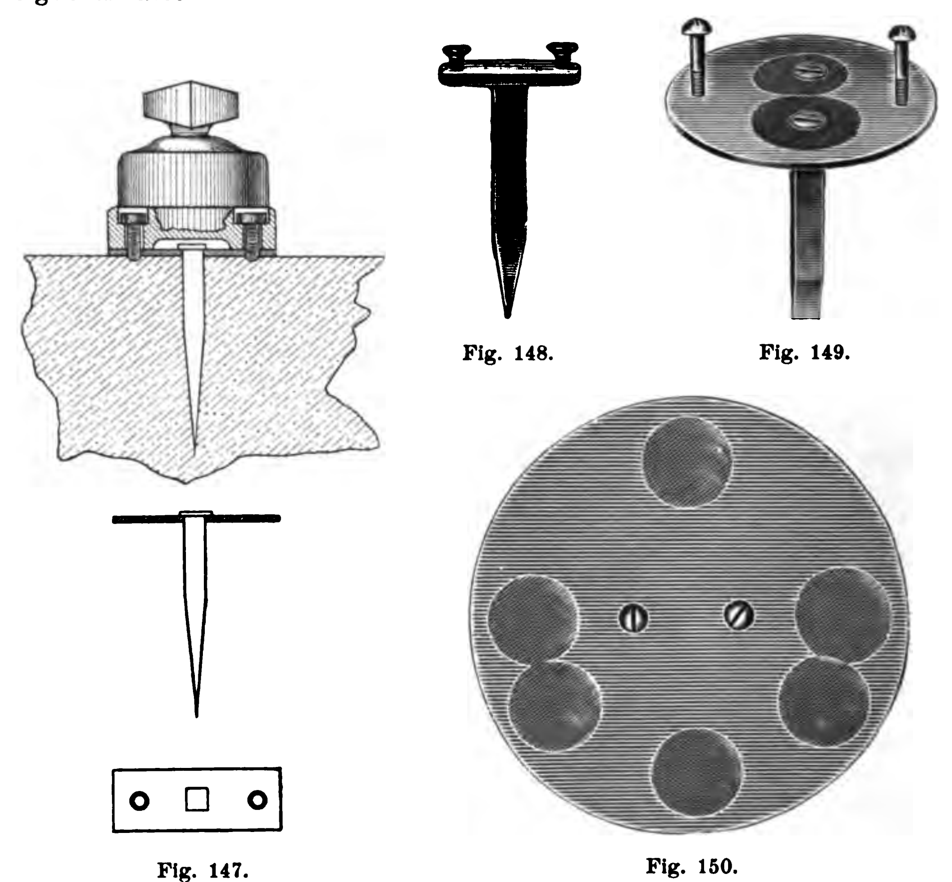


Fig. 148. Fig. 149.

Fig. 147. Fig. 150.

Der Stahlnagel wird unter Verwendung eines Setzeisens eingeschlagen, worauf in die beiden Schraubenlöcher Stifte einer besonderen Körnerschablone eingesteckt werden. Hierauf wird die Eisenblechscheibe, auf welcher der Schalter bereits mittels zweier Schrauben befestigt ist, über die Körnerspitze gehalten, so dass der Griff des Schalters in Bezug auf die Leitung die richtige Stellung hat und hierauf die Scheibe auf die Körner gedrückt. Hierdurch werden an der unteren Seite der Kompositionseinlagen die Körnerspitzen markiert und bezeichnen die Stellen für die zu bohrenden Schraubenlöcher. Die Eisenblechscheibe wird nun vom Schalter gelöst und die Löcher für die in Fig. 149 dargestellten versenkten Schrauben hergestellt. Die Eisenblechscheibe wird dann auf den Stahlnagel und der Schalter auf die Blechscheibe aufgeschraubt.

Für die Anbringung von Wandarmen und grösseren Apparaten dienen besondere Platten (Fig. 150), die sowohl für drei wie auch für vier Schrauben ohne weiteres passen. Die Befestigung der Apparate wird durch Holzschrauben bewirkt, welche in die Kompositionseinlagen eingreifen.

Der Vorteil dieser Plattenanordnung liegt darin, dass bei der Befestigung der Stahlnägel eine ziemlich beträchtliche Abweichung von der genauen Richtung vorkommen kann, ohne dass hierdurch die richtige Befestigung der Apparate beeinträchtigt wird.

Vielfach wurden für die Befestigung grösserer Schalter und insbesondere auch von Zählern Holzplatten verwendet, die jedoch den Mangel hatten, dass sie sich verzogen und hierdurch die Apparate selbst in Mitleidenschaft gezogen wurden, so dass beispielsweise bei Zählern die Richtigkeit ihrer Angaben häufig beeinträchtigt wurde. Um dies zu vermeiden, wurde nach den Angaben Uppenborns die in Fig. 151 gezeichnete Aufhängevorrichtung für Apparate gebaut, die für alle möglichen Zwecke gut verwendbar ist, und hauptsächlich dann, wenn ein Verziehen der Apparate durch untergelegte Holzplatten befürchtet werden muss.

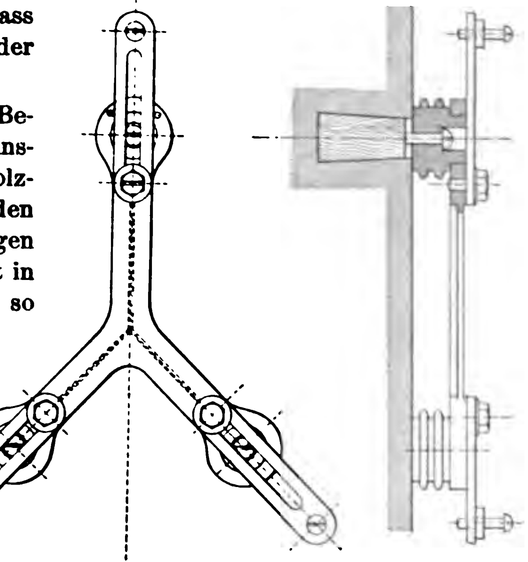


Fig. 151.

293. Anordnung in Glühlichtstromkreisen.

Die Anordnung der Installationsschalter in Glühlichtstromkreisen zeigt Fig. 152 in grosser Mannigfaltigkeit.

Es stellen dar:

a Einpolige Ausschaltung.
b Doppelpolige Ausschaltung.
c Schaltung für zwei abwechselnd brennende oder gleichzeitig benutzbare Lampen oder Lampengruppen, wobei die eine von zwei Stellen, die andere nur von einer Stelle zu bedienen ist.
d Doppelpolige Umschaltung für zwei Stromkreise mit einer Unterbrechung.
$0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3} + \frac{2}{3}$ Beleuchtung.
e Einpolige Umschaltung für zwei Stromkreise mit einer Unterbrechung.
f Doppelpolige Umschaltung für zwei Stromkreise mit zwei Unterbrechungen; 0, Stromkreis I; 0, Stromkreis II.
g Schaltung für Treppenbeleuchtung, bei welcher mit jedem der vier Umschalter die ganze Treppenbeleuchtung ein- und ausgeschaltet werden kann.
h Schaltung für zwei abwechselnd brennende, nicht gleichzeitig benutzbare Lampen oder Lampengruppen, wobei die eine von zwei Stellen, die andere nur von einer Stelle zu bedienen ist.
i Ein- und Ausschaltung einer Lampe oder Lampengruppe von zwei Stellen.
k Doppelpolige Ein- und Ausschaltung einer Lampe oder Lampengruppe von zwei Stellen.
l Einpolige Umschaltung für zwei Stromkreise mit zwei Unterbrechungen; 0, Stromkreis I; 0, Stromkreis II.
m Doppelpolige Umschalter für zwei Stromkreise mit einer Unterbrechung.
n Einpolige Umschaltung für zwei Stromkreise mit einer Unterbrechung.
$0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{3} + \frac{2}{3}$ Beleuchtung.

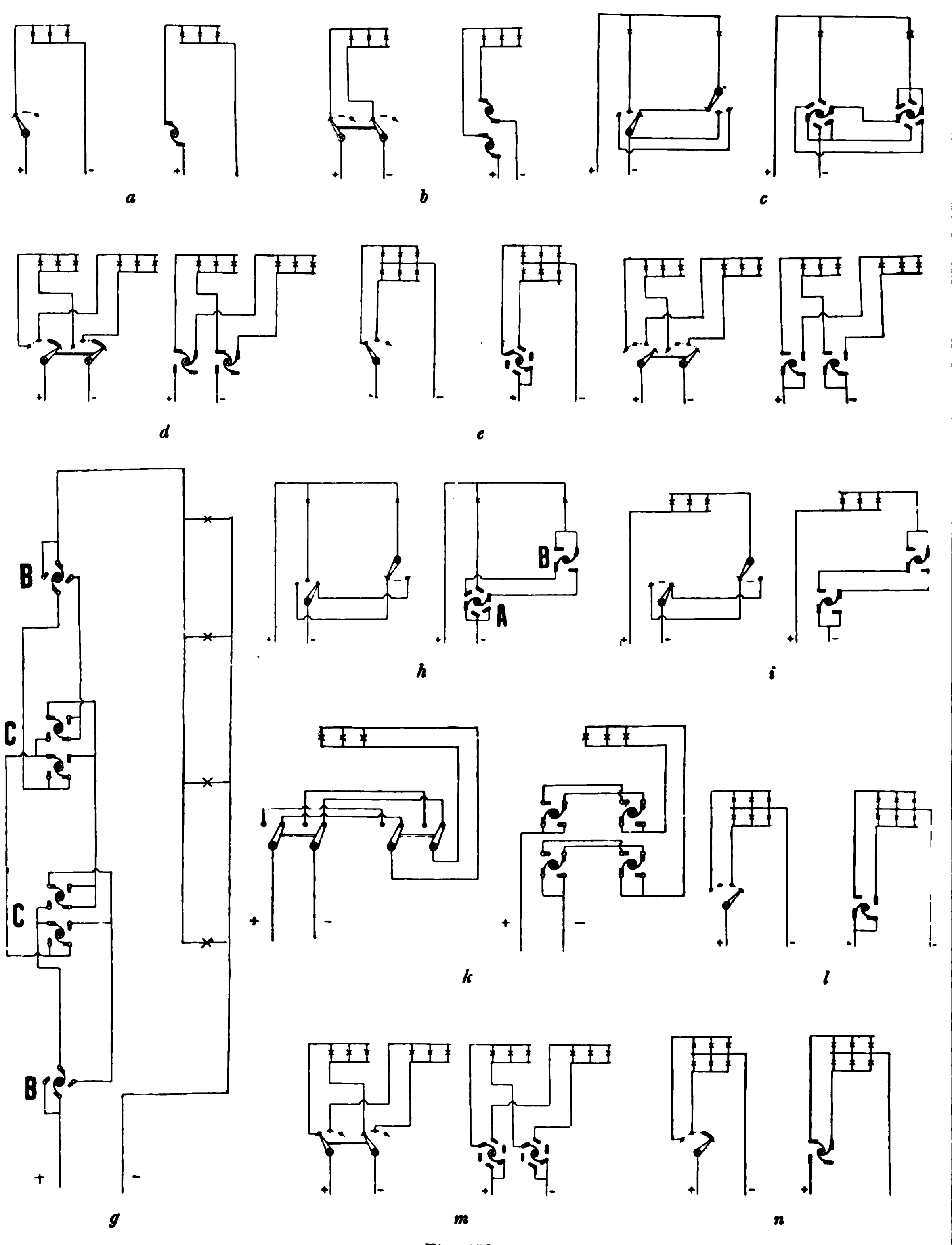


Fig. 152.

Hebelschalter.

294. Schalter für elektrische Betriebsräume.

Wir haben zu unterscheiden Schalter in elektrischen Betriebsräumen und Schalter ausserhalb derselben. Letztere müssen Momentschalter sein, erstere nicht, wie bereits früher besprochen.

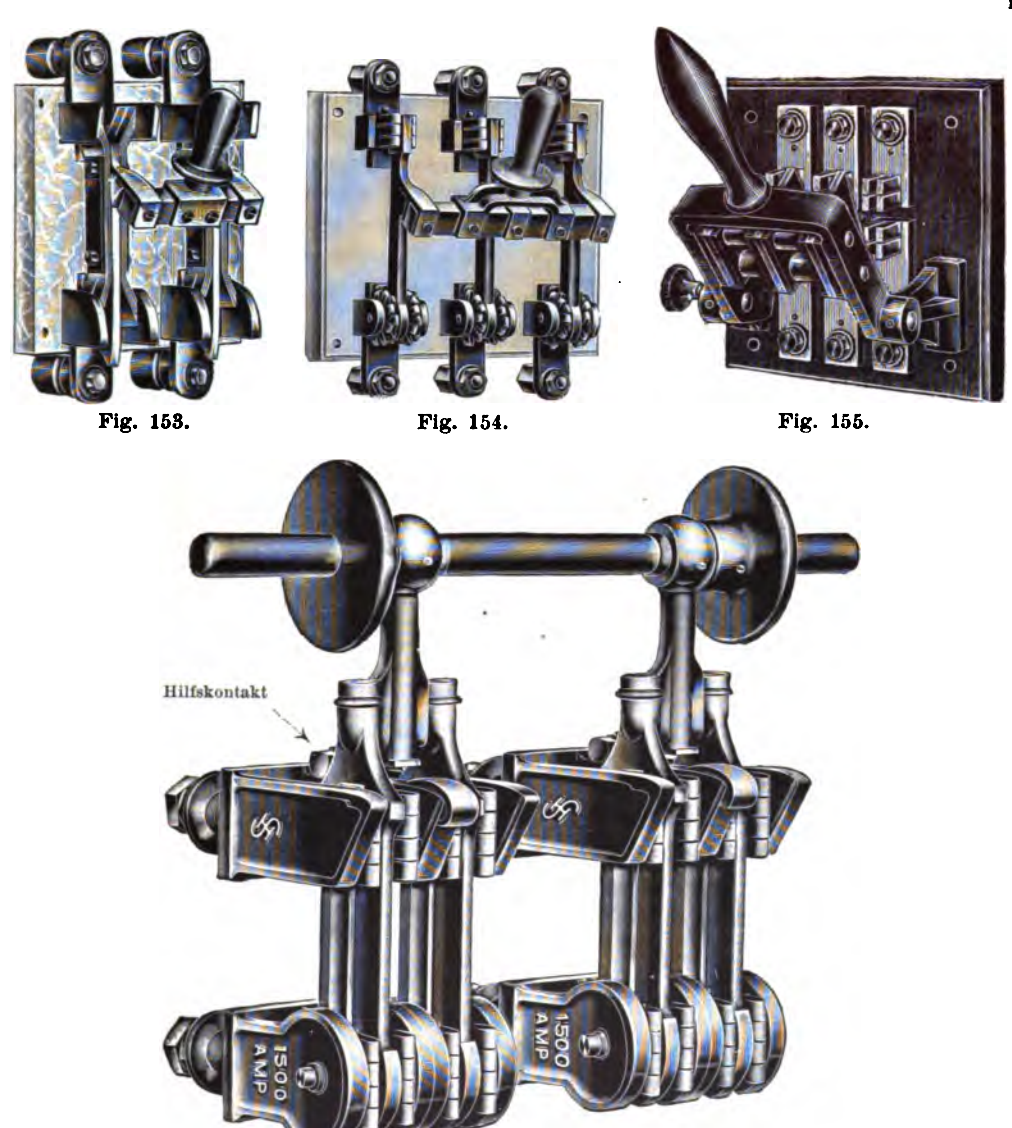


Fig. 153. Fig. 154. Fig. 155.

Fig. 156.

Der einfachste und früheste Hebelschalter vermittelte den Kontakt nur dadurch, dass der Hebel auf dem Kontaktstück auflag. Bei hohen Stromstärken ist diese Verbindung aber äusserst mangelhaft, so dass an ihre Stelle Messer- und Federkontakte getreten sind. Am Drehpunkt wurde der Kontakt nur durch den Drehbolzen vermittelt, eine Einrichtung, deren Schaden bald

erkannt und durch zweckmässigere Konstruktionen ersetzt wurde, indem man auch an diesen Stellen den Kontakt durch Federn verbesserte, sei es, dass es in der in Fig. 153 gekennzeichneten Weise geschah, sei es, dass, wie in Fig. 154, besondere federnde Stücke auf beiden Seiten des Bolzens angeordnet wurden. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, auch Dr. Paul Meyer A.-G., umgehen es zum Teil überhaupt, den Drehpunkt zum ausschliesslichen Übermittler des Stromes zu machen, sondern legen ein besonderes Kontaktstück vor (Fig. 155), so dass der Drehpunkt nur im Nebenschluss zu diesem liegt.



Fig. 157.

Die unvermeidlicherweise beim Ausschalten auftretenden Funken greifen die Schaltkontakte mehr oder weniger schnell an und wenn nicht die Brandstellen beseitigt werden, so wird beim jedesmaligen Ausschalten das Feuer stärker. Es ist daher vorteilhaft, die eigentliche Unterbrechungsstelle nicht an den Haupt-, sondern an einen Nebenkontakt zu legen. Siemens & Halske haben neben anderen Firmen an ihren Hebelschaltern eine derartige Einrichtung getroffen. Der Hilfskontakt ist so angeordnet, dass er leicht ausgewechselt werden kann. Fig. 156 zeigt einen derartigen Ausschalter für 1500 Amp., welcher zum direkten Aufbau auf die Marmorplatten eines Schaltbrettes bestimmt ist. Bei diesen Schaltern sind in jedem Pol zwei Hebel parallel gelegt, so dass einmal die Kontaktflächen doppelt so gross sind und infolgedessen die Erwärmung des Schalters durch den Strom wesentlich vermindert wird, und ferner findet die Unterbrechung an zwei Stellen statt, wodurch, wie bereits früher erwähnt,[1]) die Leistungsfähigkeit des Schalters wesentlich erhöht wird.

1) Vgl. S. 192 dieses Bandes.

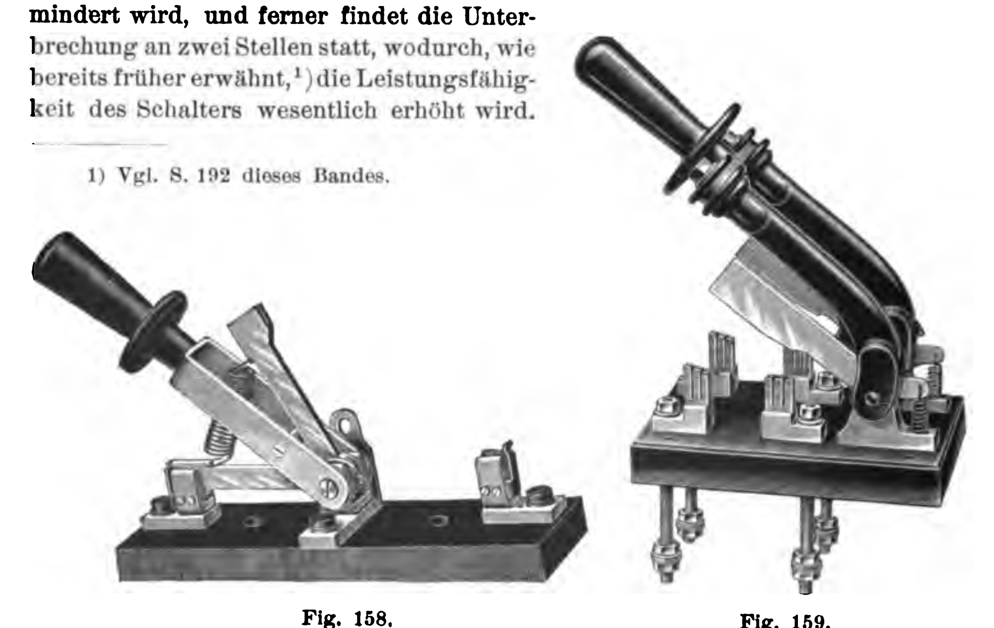


Fig. 158. Fig. 159.

Bemerkenswert ist ferner, dass die Zuführungen zum Schalter als runde Bolzen ausgebildet sind, die durch die Schalttafel gesteckt werden. Im Schaltersockel sind sie festgenietet. Durch diese Anordnung wird an Leitungsmaterial und vor allem an Montagekosten gespart. Auch Fig. 158 u. 162 zeigen den Hilfskontakt.



Fig. 160.

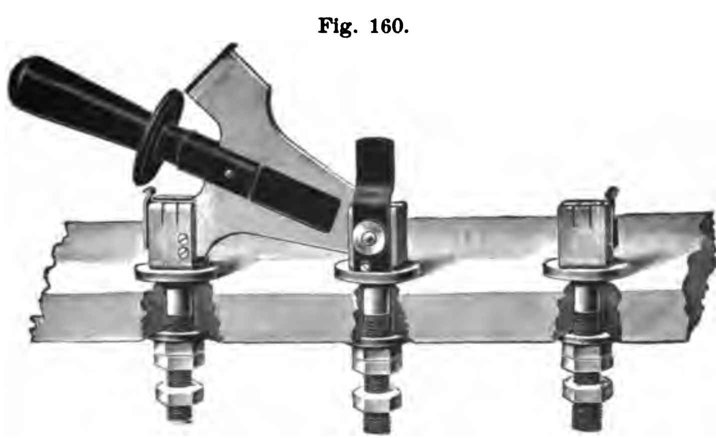


Fig. 161.

295. Hebelschalter ausserhalb elektrischer Betriebsräume.

Für die ausserhalb elektrischer Betriebsräume verwendeten Schalter wird, den Vorschriften entsprechend, die Momentausschaltung gewählt, die durch Federn herbeigeführt wird. Die Schalter bestehen aus zwei Hebeln, von denen einer bestimmt ist, die Bewegung durch Anspannen der Federn einzuleiten, während der andere den Stromschluss bewirkt.

Bei den Schnellausschaltern von Siemens & Halske (Fig. 157) greift die Feder etwa in der Mitte beider Hebel an.

Bei den Momentumschaltern von Dr. Paul Meyer A.-G. (Fig. 158) liegt die Feder zwischen den beiden Stromschlussstücken und bei den Schaltern von Voigt & Haeffner an einem nach rückwärts verlängerten Hebel (Fig. 159).

Bei dem in Fig. 160 abgebildeten Schalter (W. S. Hill, Electric. Company, New Bedford, Mass.) werden beide Hebel zur Stromleitung verwendet. Dem Schlaghebel sind aber geringere Dimensionen gegeben, da er nur auf einen Augenblick im Moment des Ausschaltens den ganzen Strom allein zu tragen hat. Er dient gleichzeitig als Hilfskontakt.

296. Feststellvorrichtungen. Hebelschalter werden vielfach mit Feststellvorrichtungen versehen, um ein unbeabsichtigtes selbstthätiges Einschalten zu vermeiden. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft arretiert ihre Schalter in der Einschaltstellung durch einen Stift, der in eine entsprechende Vertiefung des Hebels einfällt.

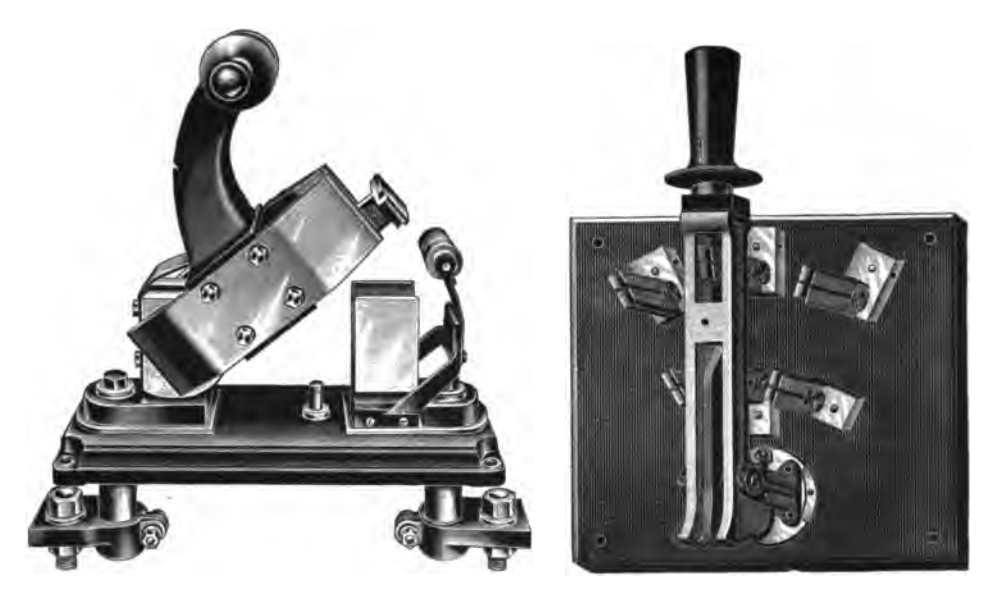


Fig. 162. Fig. 163.

Dr. Paul Meyer legt den Hebel in der Ruhestellung durch eine seitlich angeordnete Feder fest (Fig. 161).

Im übrigen werden die Ausschalter so montiert, dass der feste Kontakt oben liegt, so dass die Schalthebel, wenn sie sich selbstthätig bewegen sollten, etwa infolge lose gewordener Federn etc., keinen Stromschluss herstellen können.

Eine andere Feststellvorrichtung ist noch in (298) S. 236 beschrieben.

297. Spezial-Hebelausschalter. Einen Ausschalter von besonders gedrungenen Formen bauen Voigt & Haeffner für Marinezwecke (Fig. 162). Bei diesem bleiben die Kontakte beim Ausschalten ebenfalls unversehrt, da Funkenzieher angebracht sind, die aus Kohlerollen bestehen. Der Apparat wird auf gusseisernen Sockeln montiert, von dem die stromführenden Teile durch Glimmer isoliert sind. — Einen Umschalthebel, bestimmt, um mehrere Stromkreise, aber nicht gleichzeitig, an dieselbe Stromquelle legen zu können, bauen Bergmann & Co. nach der in Fig. 163 gezeigten Konstruktion, die sich ohne weiteres von selbst erläutert.

Fig. 164 zeigt noch die Anordnung eines von der Helios-Aktiengesellschaft gebauten und für höhere Spannungen bestimmten Momentausschalters



Fig. 164.

für Drehstrom D. R. G. M. No. 132 298, dessen einzelne Phasen voneinander durch Zwischenwände getrennt sind. Die Unterbrechung erfolgt an zwei Stellen in jeder Phase. Fig. 164 a zeigt den vor der Schalttafel angebrachten Hebelmechanismus.



Fig. 164 a.

298. Augenblicksschalter von Mix & Genest.

Eine von den übrigen abweichende Konstruktion von Augenblickshebelschaltern ist von MIX & GENEST geschaffen und in einem einpoligen Modell in Fig. 165 dargestellt.

Die Grundplatte und die Lagerböcke für die Achse sind in Verbindung mit den Rippen, Wänden u. s. w. zu einem soliden Sockel aus Porzellan vereinigt, in welchem sämtliche Metallteile tief versenkt eingebaut sind. Gleich solide sind die in den Sockel hineinragenden Porzellangriffe, welche auch bei den mehrpoligen Modellen aus einem Stück gearbeitet sind. Die Stromschlussmesser springen nur bei der Ausschaltung aus dem Sockel hervor und

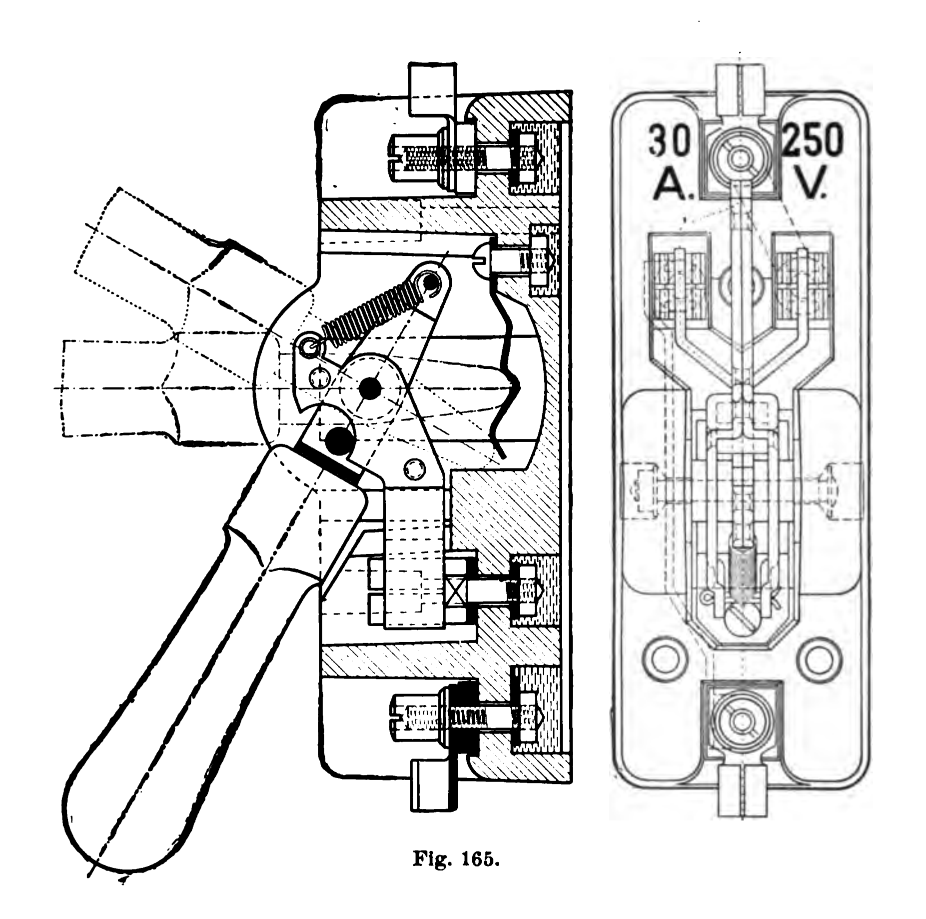


Fig. 165.

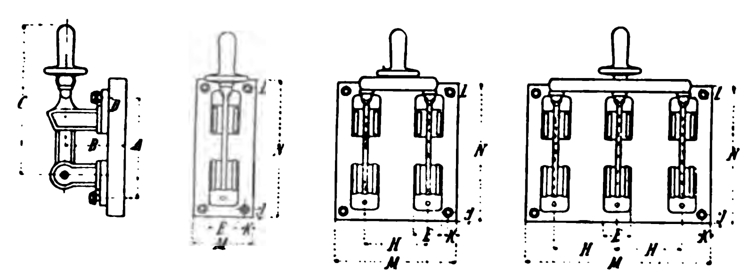
sind dann stromlos. Die Achse ist nicht stromführend. Der Schalthebel wird, solange der Schalter geschlossen ist, durch eine Spiralfeder gegen einen Anschlag gezogen. Beim Öffnen des Schalters erfolgt die Unterbrechung des maximalen Stromes bei Spannungen bis 250 Volt vollkommen sicher. Der Schalthebel schleift dabei auf einer mit zwei Rasten versehenen Blattfeder und erreicht in diesen Rasten zwei entsprechende Feststellungen, und zwar die erste nach vollständiger Stromunterbrechung und die zweite am Ende des gesamten Weges.

Diese Feststellungen schützen die Schalter vor unbeabsichtigten Einschaltungen, da der Blattfederdruck eine bestimmte Kraftäusserung erfordert.

299. Dimensionen einiger Schaltertypen.

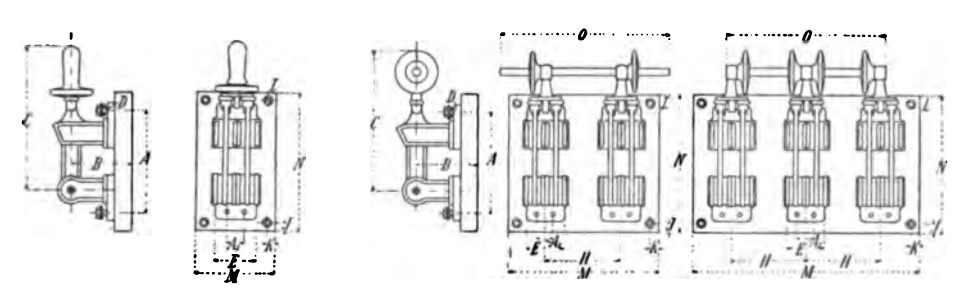
Tabelle No. 72.

Hebelschalter N.911 für Spannungen bis 1000 Volt der Siemens & Halske-A.-G.



Ausschalter N.911 bis 1000 Ampere mit Grundplatte.

Type		Ampere	A	B	C	D	E	H	J	K	L	M	N	Gewicht kg
N.911 a	einpolig	50	102	61	140	6	25	—	10	10	6	65	145	0·9
„ aa	zweipolig	„	102	61	175	6	25	60	10	10	6	125	145	1·8
„ aaa	dreipolig	„	102	61	180	6	25	60	10	10	6	185	145	2·75
N.911 b	einpolig	100	136	78	195	8	35	—	11	11	6	75	185	2·0
„ bb	zweipolig	„	136	78	230	8	35	85	11	11	6	160	185	4·36
„ bbb	dreipolig	„	136	78	235	8	35	85	11	11	6	245	185	6·4
N.911 c	einpolig	200	183	93	260	10	48	—	11	11	6	90	250	3·95
„ cc	zweipolig	„	183	93	295	10	48	110	11	11	6	200	250	8·5
„ ccc	dreipolig	„	183	93	305	10	48	110	11	11	6	310	250	12·8
N.911 d	einpolig	400	221	113	315	13	56	—	14	14	9	110	300	7·2
„ dd	zweipolig	„	221	113	335	13	56	130	14	14	9	240	300	14·5
„ ddd	dreipolig	„	221	113	340	13	56	130	14	14	9	370	300	22·0
N.911 e	einpolig	700	272	146	345	16	72	—	18	18	9	135	370	14·3
„ ee	zweipolig	„	272	146	385	16	72	155	18	18	9	290	370	30·1
„ eee	dreipolig	„	272	146	410	16	72	155	18	18	9	445	370	44·6
N.911 f	einpolig	1000	321	165	395	20	85	—	20	20	9	140	440	20·1
„ ff	zweipolig	„	321	165	435	20	85	175	20	20	9	315	440	40·1
„ fff	dreipolig	„	321	165	445	20	85	175	20	20	9	490	440	61·0

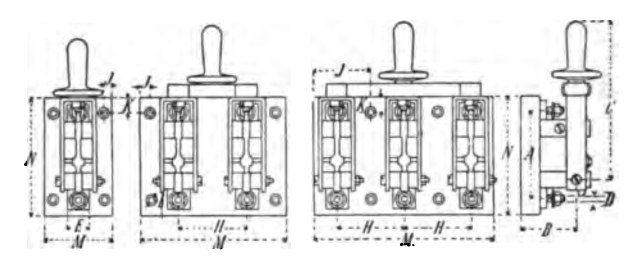


Ausschalter N.911 bis 2000 Ampere mit Grundplatte.

Type		Ampere	A	A_2	B	C	D	E	H	J	K	L	M	N	O	Gewicht kg
N.911 g	einpolig	1500	272	40	148	370	16	100	—	18	18	9	198	370	—	25·6
„ gg	zweipolig	„	272	40	148	385	16	100	215	18	18	9	413	370	550	54·7
„ ggg	dreipolig	„	272	40	148	385	16	100	215	18	18	9	628	370	470	83·4
N.911 h	einpolig	2000	321	50	167	420	20	110	—	20	20	9	200	440	—	40·0
„ hh	zweipolig	„	321	50	167	415	20	110	235	20	20	9	435	440	570	75·0
„ hhh	dreipolig	„	321	50	167	415	20	110	235	20	20	9	670	440	510	118·0

Tabelle No. 73.

Schnellausschalter N.901 der Siemens & Halske-A.-G.



Schnellausschalter N.901 auf Sockel für Spannungen bis 500 Volt.

Type	Ampere	A	B	C	D	E	H	J	K	L	M	N	Gewicht kg
N.901 a	50	96	52	145	6	20	—	10	15	5	65	120	0·84
„ aa	„	96	52	160	6	20	65	10	15	5	180	120	1·74
„ aaa	„	96	52	165	6	20	65	53	15	5	170	120	2·10
N.901 b	100	116	67	180	8	26	—	12	15	6	80	144	1·70
„ bb	„	116	67	195	8	26	80	12	15	6	160	144	3·41
„ bbb	„	116	67	200	8	26	80	65	15	6	210	144	4·95
N.901 c	200	145	81	225	10	32	—	14	18	7	90	185	2·98
„ cc	„	145	81	240	10	32	100	14	18	7	190	185	6·18
„ ccc	„	145	81	245	10	32	100	80	18	7	260	185	9·12
N.901 d	400	190	105	295	13	40	—	15	20	8	100	240	6·05
„ dd	„	190	105	315	13	40	120	15	20	8	220	240	12·10
„ ddd	„	190	105	325	13	40	120	95	20	8	310	240	18·20

Schalter zum langsamen Öffnen eines Stromkreises.

300. Schalter mit Kohlehilfskontakten.

Bei plötzlicher Unterbrechung des Erregerstromkreises einer Dynamo, überhaupt beim Ausschalten irgend welcher Widerstände mit hoher Selbstinduktion wird es oft vorkommen, dass durch die plötzlich eintretende hohe Spannung ein Durchschlagen der Isolierung verursacht wird. Um dies zu verhindern, werden gewöhnlich Draht- oder Flüssigkeitswiderstände eingeschaltet oder auch ein sich langsam vergrössernder Lichtbogen verwendet, wodurch vor gänzlicher Unterbrechung des betreffenden Stromkreises der Strom auf ein gewisses Mass herabgedrückt wird.

Sehr gute Dienste leisteten die früher von Siemens & Halske gebauten Kohlenausschalter (Fig. 166). Beim Einschalten wurde der obere Kupferkontakt geschlossen und hierdurch der Schlitten mit der oberen Kohle, welcher an Kupferbändern hängt, ausgelöst. Infolgedessen fiel die obere auf die untere Kohle; beide Kontakte liegen parallel zu einander. Beim Ausschalten wird der obere Hebel geöffnet und mit Hilfe von Schnecke und Schneckenrad die obere Kohle gehoben, wobei ein Lichtbogen gebildet wird, in dem der auftretende Extrastrom verläuft. Fig. 167 zeigt einen anderen Kohlenausschalter der gleichen Firma, bei welchem der Kohlenkontakt vom Schalthebel abhängig ist.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft baut Schalter, deren Prinzip dem ersteren ähnlich ist und die in Fig. 168 erläutert werden.

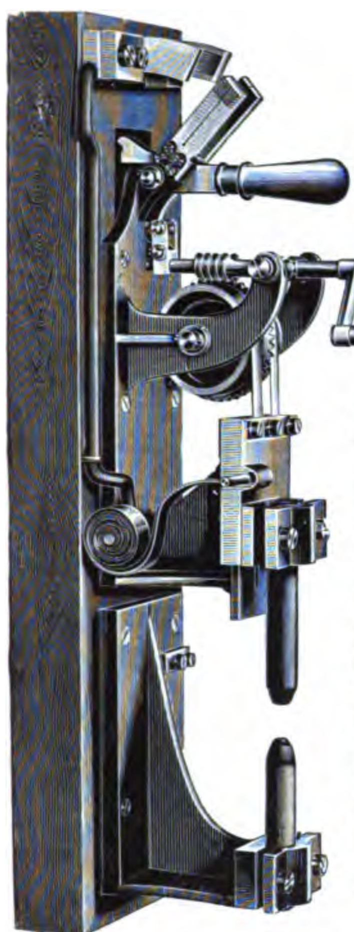


Fig. 166.



Fig. 167.

301. **Ausschalten induktiver Widerstände unter Zuhilfenahme induktionsfreier Widerstände.**

Statt der vorerwähnten Schalter wendet die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. SCHUCKERT & Co. ein anderes Prinzip an, durch welches eine einfachere Anordnung erreicht wird.

Dieses besteht darin, dass man einen induktionsfreien Widerstand zu Hilfe nimmt, der vor der Handhabung des Ausschalters parallel zu dem induktiven Widerstand (Erregerwicklung von Gleich- und Wechselstrommaschinen) eingeschaltet wird, worauf die beiden parallel geschalteten Widerstände vom Hauptstromkreise abgetrennt werden. Der hiernach konstruierte Schalter enthält somit drei Hauptteile. Einen induktionsfreien Widerstand und zwei Kontaktarme, von denen der eine zum Anschluss des induktionsfreien Widerstandes, der andere zum eigentlichen Ausschalten dient.

Die Bedienung des Apparates geschieht mit einem einzigen Handgriff. Bei richtiger Bemessung des induktionsfreien Hilfswiderstandes kann die Funkenbildung soweit unterdrückt werden, als wenn keine Induktion bei der Unterbrechung des Stromkreises vorhanden wäre.

Die bei dem Ausschalten der beiden Widerstände entstehende Extrastromspannung hängt von der Grösse des in Fig. 169 bezeichneten Widerstandes W_2 ab, und zwar wird, wenn die Spannung an der Stromquelle mit E bezeichnet ist, dieselbe maximal

$$E_{max} = E \frac{W_2}{W_1}$$

betragen. W_1 bezeichnet dabei den

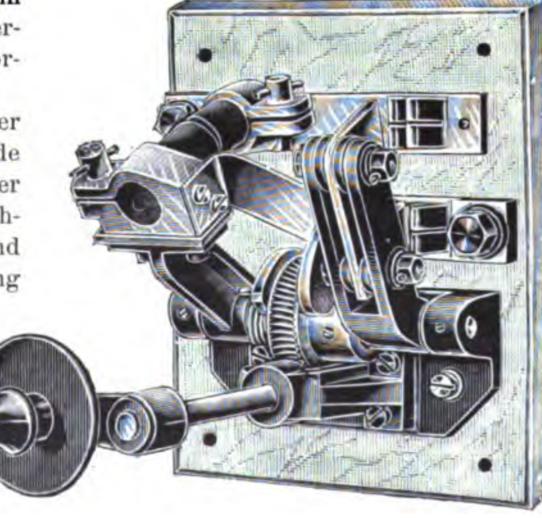


Fig. 168.

auszuschaltenden induktiven und W_2 den induktionsfreien Widerstand. Die Spannung der Stromquelle kann den durch umstehende Formel gegebenen Wert nicht übersteigen, da sonst die Erregerstromstärke, welche sich nach dem Öffnen des Ausschalters gewissermassen in den induktionsfreien W_2 ergiesst, zunehmen müsste. Die Gefahr des Durchschlagens der Magnetwicklung, die beim einfachen Ausschalter zufolge der entstehenden hohen Extrastromspannung vorhanden ist, wird demnach durch diesen Apparat beseitigt. Wenn man z. B. den Widerstand W_2 doppelt so gross bemisst, als W_1, so ist man sicher, dass die Extrastromspannung den doppelten Wert der Spannung an der Stromquelle nicht übersteigen kann.

Die konstruktive Ausbildung des Apparates ist den praktischen Bedürfnissen angepasst. Aus den Konstruktionszeichnungen Fig. 169a u. 169b gehen Form und Anordnung der Apparate hervor. Die beiden Kontaktarme a_1 für den auszuschaltenden induktiven Widerstand W_1 und a_2 für

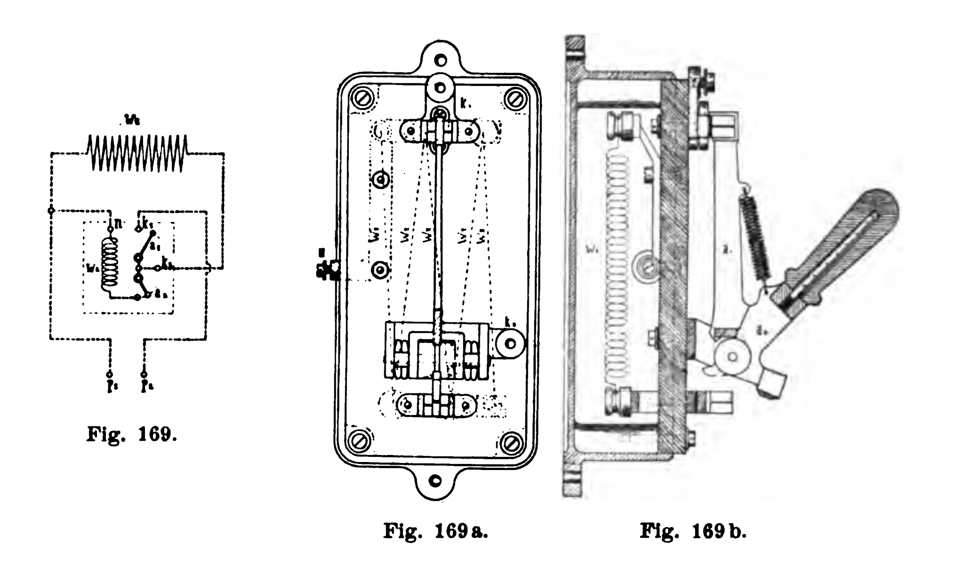


Fig. 169. Fig. 169a. Fig. 169b.

den im Gehäuse des Apparates untergebrachten induktionsfreien Hilfswiderstand W_2 sind auf derselben Achse angebracht, und zwar a_2 fest, a_1 lose. In der aus den Zeichnungen hervorgehenden Stromstellung ist a_2 unterbrochen. Beim Ausschalten wird der Handhebel nach unten gedreht und a_2 geschlossen. Es wird also beim Aufwärtsdrücken des Handgriffes der Schalter rechts des induktionsfreien Widerstandes erst geöffnet und dann erst die Erregung durch den Kontakthebel links eingeschaltet.

Die Spiralfeder wird beim Ausschalten zwischen Handhebel und Kontaktarm a_1 gespannt, gleichzeitig stösst eine Nase am Hebel a_2 auf einen entsprechenden Ansatz am Hebel a_1, worauf die letztere aus dem Stromschlussstück herausschnellt und die Stromzuführung nach den beiden Widerständen W_1 und W_2 unterbricht.

Infolge der zwangsläufigen Verbindung der beiden Schalthebel ist es zulässig, das Ausschalten beliebig schnell vorzunehmen, die dabei natürlich nur am Haupthebel links entstehende Funkenbildung entspricht derjenigen, welche sich beim Ausschalten induktionsfreier Widerstände zeigt. Auf die

Grösse der Magnetsysteme und die Anzahl der Windungen auf den Schenkeln kommt es dabei nicht an.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass der induktionsfreie Widerstand für eine beliebige Anzahl solcher Ausschalter gemeinschaftlich und in seiner materiellen Dimensionierung sehr klein sein kann, da an und für sich dessen Beanspruchung nur Sekunden dauert.

Der normale Niederspannungsapparat für Betriebsspannungen bis 250 Volt wird gewöhnlich für Stromstärken bis zu 60 Amp. angefertigt; derselbe eignet sich einerseits zum Ausschalten der Magnetsysteme grosser Gleich-

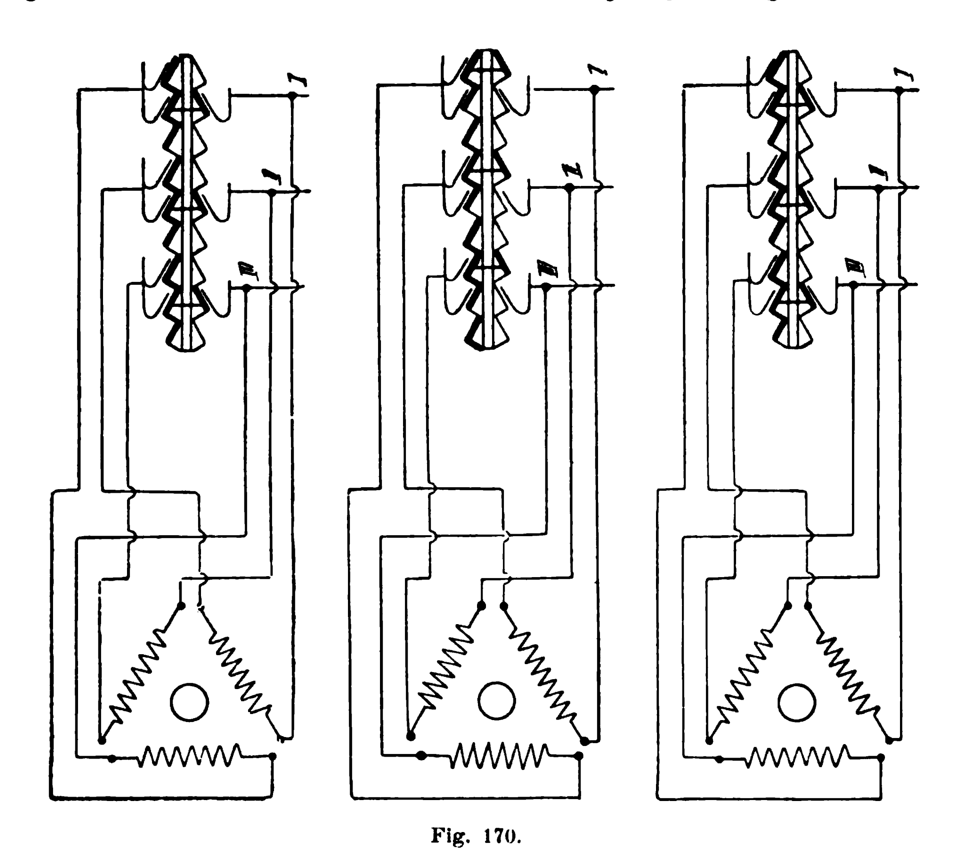


Fig. 170.

und Wechselstrommaschinen, andererseits zum Ausschalten kleinerer Serienmotore und Bogenlampenserien.

303. Stern-Dreieckschalter der A. E.-G.

Es finde noch ein Spezialschalter Erwähnung, der für gewisse Drehstrommotortypen mit Kurzschlussanker der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft als Stern-Dreieckschalter Verwendung findet. Der Schalter besteht aus einem rotierenden Stern aus Isoliermaterial, welcher mit geeigneten Kontaktstücken versehen ist. Fig. 170 zeigt die Schaltung der verschiedenen Stellungen des Schalters: „Ausgeschaltet“, „Anlassen“ (Sternschaltung), „Eingeschaltet“ (Dreieckschaltung).

Der Schalter kann für die genannten Motorentypen Verwendung finden, sofern deren Stromstärke 25 Amp., ihre Betriebsspannung 115 Volt nicht übersteigt.

Hochspannungsschalter.

303. Abschaltbare Leistung.

Je höher die Spannung wird, unter welcher ein Schalter unterbrechen soll, um so schwieriger wird es grössere Leistungen abzuschalten, da der beim Ausschalten unvermeidliche Lichtbogen sehr grosse Dimensionen annimmt und bei ungeeigneter Konstruktion nicht zum Erlöschen gebracht werden kann. Unter Umständen wird hierdurch der ganze Schalter zerstört. Hierzu kommt, dass die Leistung, welche ein Schalter äusserstens ausschalten kann, in den seltensten Fällen (mit Ausnahme der Ölschalter) das Produkt aus der grössten Stromstärke und der höchsten zulässigen Spannung ist, meistens vielmehr weit darunter liegt. Die maximale sicher auszuschaltende Leistung ist wesentlich abhängig davon, ob induktive Widerstände abzuschalten sind oder nicht. Mit abnehmender Spannung steigert sich im allgemeinen die abschaltbare Leistung. Dies ist auch aus der folgenden Tabelle ersichtlich, die sich auf dreipolige Röhrenschalter von Siemens & Halske bezieht.

Tabelle No. 74.

Zulässige		Ausschaltbare Leistung bei höchster Spannung und induktiver Belastung in Kilowatt
Stromstärke	Spannung	
50	3000	100
200	6000	600
500	6000	600
200	15000	500

Werden Hochspannungsschalter schnell mehrere Male hintereinander geschaltet, so verringert sich ihre abschaltbare Leistung, da sie und die umgebende Luft sich stark erwärmen.

304. Einteilung der Hochspannungsschalter.

Es sind daher die mannigfaltigsten Hilfsmittel angewendet worden, um den Lichtbogen zum raschen Erlöschen zu bringen oder ihn bereits im Entstehen zu unterdrücken. Diese Schalter lassen sich daher nach der Art ihrer Konstruktion in mehrere Gruppen einteilen, und zwar:

1. Schalter, bei denen eine möglichst grosse Schlagweite hergestellt und durch Federspannwerke ein rasches Öffnen herbeigeführt wird.
2. Schalter, bei denen der Lichtbogen in engen Röhren auftritt und in diesen erstickt wird, wobei die Löschwirkung durch kühlende Metallmassen begünstigt wird.
3. Schalter, bei denen auf elektrodynamischem Wege der Lichtbogen zerrissen wird.
4. Schalter, bei denen der Funke unter Öl erstickt wird.
5. Schalter, bei denen der Funke durch Pressluft ausgelöscht wird.

1. Schalter mit grosser Schaltöffnung.

305. Schalter mit grosser Schlagweite.

Auf diesem Prinzip beruhen alle Hochspannungshebelschalter, die aus der Form der gewöhnlichen Schalter dadurch entstanden sind, dass man ihre Schlagweite wesentlich vergrösserte und ihre Isolation der höheren Spannung

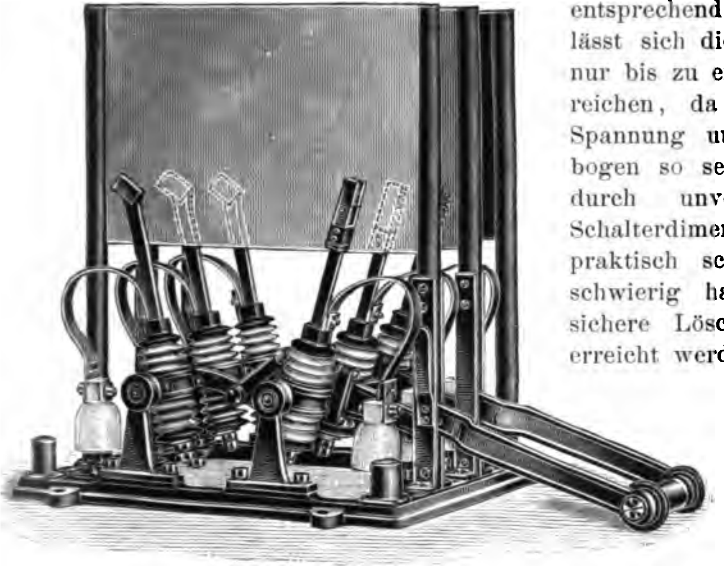


Fig. 171 a.

entsprechend verbesserte. Indessen lässt sich die beabsichtigte Wirkung nur bis zu einer gewissen Grenze erreichen, da mit der zunehmenden Spannung und Leistung der Lichtbogen so sehr anwächst, dass nur durch unverhältnismässig grosse Schalterdimensionen, die sich aber praktisch schwer durchführen und schwierig handhaben lassen, eine sichere Löschung des Lichtbogens erreicht werden könnte.

Sie werden daher nur in solchen Stromkreisen verwendet, in welchen sich die Leistung vor dem Ausschalten bis zu einer möglichst niedrigen Grenze herunterdrücken lässt. Die Kontaktmesser werden durch Schalthebel bedient, beim Ausschalten treten Federn in Thätigkeit, welche ein schnelles Öffnen bewirken.

Schalter dieser Art, nach Konstruktionen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, sind in Fig. 171 gezeigt. Um das Überspringen des Lichtbogens beim Ausschalten von einem Pol zum anderen zu vermeiden, werden sie entweder, wie dies aus den Abbildungen hervorgeht, durch Zwischenwände getrennt, oder es werden über den Kontaktstellen besondere Schutzkappen angeordnet. Ihre Dimensionen gehen aus der nachstehenden Tabelle No. 75 hervor.

306. Schalter mit hintereinander geschalteten Funkenstrecken.

Schuckert & Co. wendeten früher einen Schalter an, bei dem der gewünschte grosse Abstand zwischen den Kontakten nicht durch einen Weg, sondern durch viele hintereinander geschaltete Abstände erreicht wurde. Hierzu war eine grössere Anzahl von Kohlenzylindern auf leicht biegsamen Federn derart angeordnet, dass sie einen gewissen Abstand voneinander innehielten. Beim Einschalten werden alle Zylinder durch eine Hebelvorrichtung aneinandergepresst, sie schnellen beim Abschalten rasch auseinander, eine grössere Anzahl von Luftstrecken herstellend.[1])

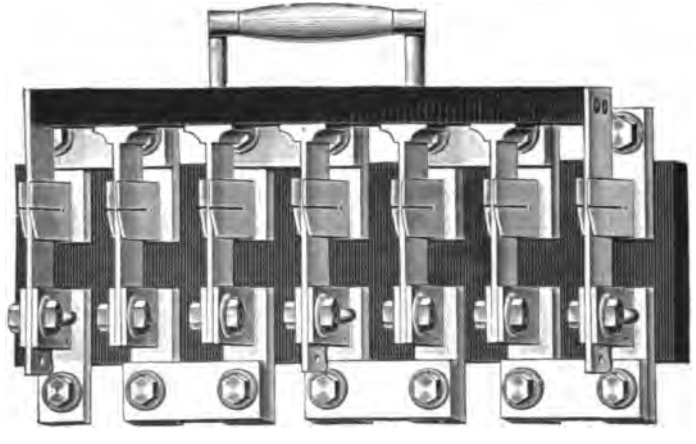


Fig. 172.

1) Vgl. Herzog & Feldmann. Elektr. Beleuchtung 1901, S. 396, Fig. 346.

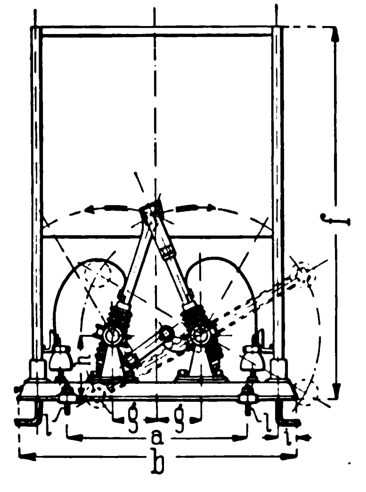
Bergmann & Co. verwenden ebenfalls die Unterteilung des Schaltweges für Hochspannungsschalter, indem sie mehrere gewöhnliche Hebelschalter hintereinander schalten. Die Konstruktion dieser Schalter wird durch Fig. 172 genügend erläutert.

307. Masse von Hochspannungsschaltern mit grosser Schlagweite.

Tabelle No. 75.

Hochspannungsschalter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

	P.-L. No.	Amp.	Volt	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m
Einpolig	2286	30	5 000	300	450	200	220	400	500	75	115	27	120	3/8″	300
	2287	60	5 000	350	550	240	270	500	580	90	130	35	120	1/2″	360
	2288	100	5 000	410	670	240	270	500	680	110	135	55	120	1/2″	360
	2289	200	5 000	520	820	260	290	600	860	160	140	70	140	1/2″	420
	2290	300	5 000	700	1000	260	290	600	1100	225	140	80	140	1/2″	420
	2291	30	12 000	520	820	260	290	600	860	160	140	80	140	1/2″	420
	2292	60	12 000	700	1000	260	290	600	1100	225	140	80	140	1/2″	420
	2293	100	12 000	470	740	350	380	500	680	115	140	90	120	1/2″	460
	2294	200	12 000	570	865	350	380	600	860	165	145	90	120	1/2″	460
Zweipolig	2491	30	5 000	300	450	290	310	400	500	75	115	27	120	3/8″	370
	2492	60	5 000	350	550	330	360	500	580	90	130	35	120	1/2″	420
	2493	100	5 000	410	670	330	360	500	680	110	135	55	120	1/2″	420
	2494	200	5 000	520	820	370	400	600	860	160	140	70	140	1/2″	470
	2495	300	5 000	700	1000	370	400	600	1100	225	140	80	140	1/2″	470
	2496	30	12 000	520	820	370	400	600	860	160	140	80	140	1/2″	470
	2497	60	12 000	700	1000	370	400	600	1100	225	140	80	140	1/2″	470
	2498	100	12 000	470	740	605	635	500	680	115	140	90	120	1/2″	580
	2499	200	12 000	570	865	605	635	600	860	165	145	90	120	1/2″	580
Dreipolig	2502	30	5 000	300	450	430	450	400	500	75	115	27	120	3/8″	470
	2503	60	5 000	350	550	450	480	580	580	90	135	40	120	1/2″	500
	2504	100	5 000	410	670	450	480	500	680	110	140	55	120	1/2″	500
	2505	200	5 000	520	820	510	540	600	860	160	140	70	140	1/2″	550
	2516	300	5 000	700	1000	510	540	600	1100	225	140	80	140	1/2″	550
	2506	30	12 000	520	820	510	540	600	860	160	140	80	140	1/2″	550
	2507	60	12 000	700	1000	510	540	600	1100	225	140	80	140	1/2″	550
	2508	100	12 000	470	740	845	875	500	680	115	140	90	120	1/2″	700
	2509	200	12 000	570	865	845	875	600	860	165	145	90	120	1/2″	700



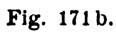


Fig. 171 b.

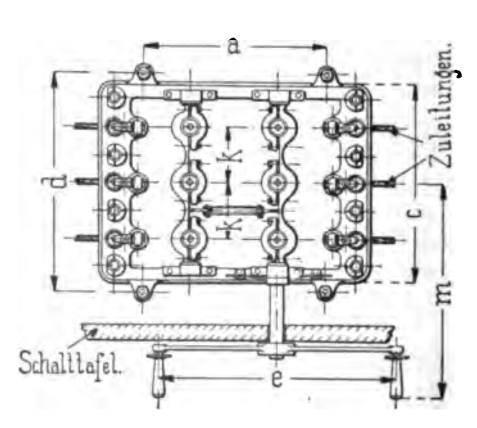


Fig. 171 c.

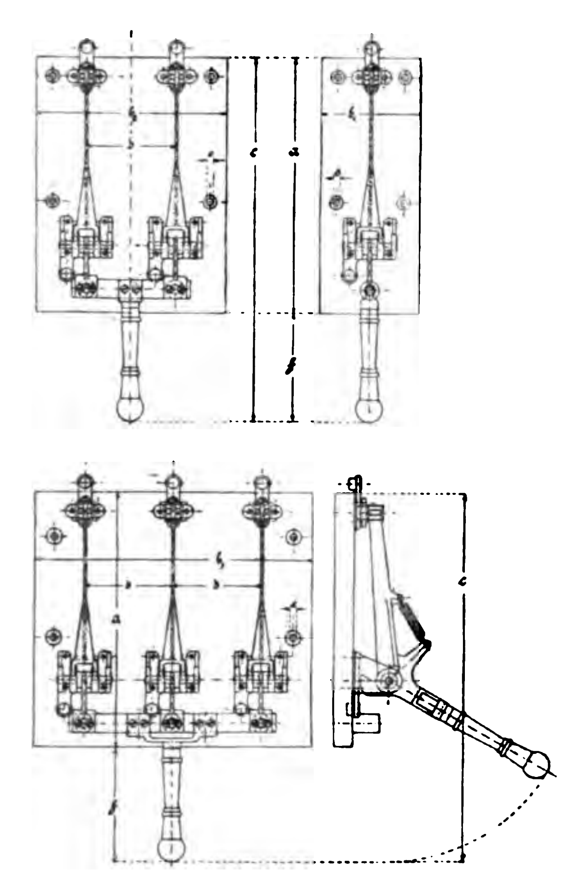


Fig. 173.
Hebelausschalter für 3000 Volt. Für Handbetrieb.

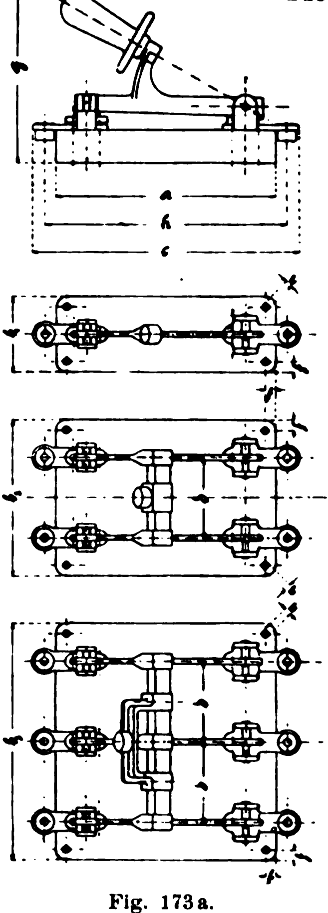


Fig. 173a.
Hebelausschalter für 600 Volt.

Tabelle No. 76.

Hebelausschalter für 3000 Volt der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg.

Amp.	Bestell-No.	a	b_1	b_2	b_3	c	d	e	f
15	5810	285	100	200	300	400	100	8	115
30	5811	300	120	220	320	410	110	8	110
60	5812	335	160	280	400	470	120	9	135
100	5813	405	160	300	440	580	140	10	175
200	5814	500	200	325	500	650	175	14	160

Tabelle No. 77.

Hebelausschalter für 600 Volt der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg.

Amp.	Bestell-No.	a	b_1	b_2	b_3	c	d	e	f	g	h	Gewichte in kg einpolig	zweipolig	dreipolig
15	5710	152	50	105	160	185	55	5	8	135	172	0.78	1·5	2·4
30	5711	180	60	125	190	230	65	5	9	150	204	1·2	2·1	3·4
60	5712	205	70	145	220	280	75	7	10	170	210	1·8	3·8	5·6
100	5713	232	80	165	250	282	85	7	11	185	256	2·8	5·6	8·2
200	5714	264	90	185	280	322	95	8	13	205	290	4·2	8·3	12·5
400	4709	304	140	250	360	382	110	11	20	240	340	8·7	16·5	25·5
700	4710	304	150	280	420	418	130	12	20	250	366	13·5	26·5	40·0
1000	4711	360	200	350	500	494	150	13	25	260	428	22·8	45·0	67·0

2. Schalter, bei denen der Unterbrechungsfunke in engen Röhren auftritt.

308. Röhrenschalter von Siemens & Halske, A.-G.

Röhrenschalter von Siemens & Halske: Das Prinzip dieser Schalter beruht darauf,[1] dass der Lichtbogen in ein eng anschliessendes Isolierrohr

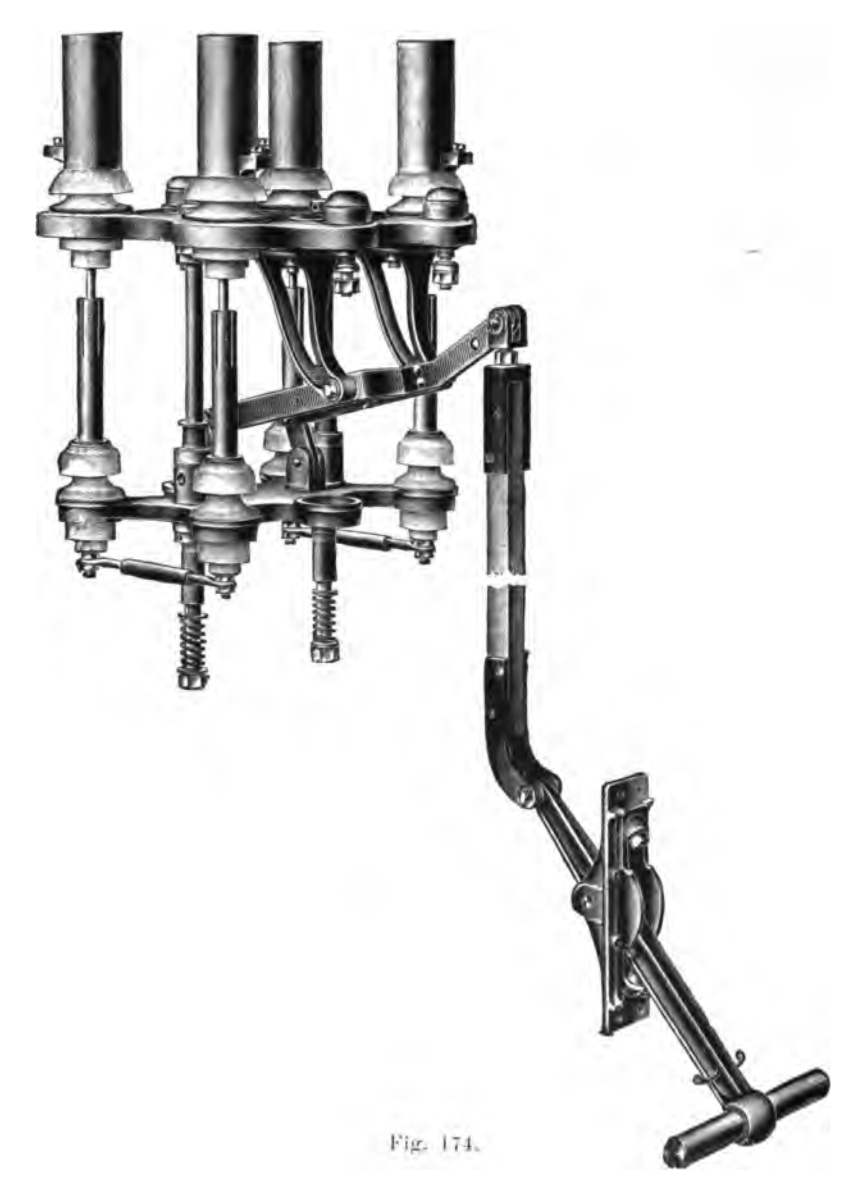


Fig. 174.

gezogen wird; die hierdurch eintretende schnelle Löschwirkung wird durch kühlende Metallmassen wesentlich unterstützt. In jedem Pol befinden sich doppelte Unterbrechungsstellen, und zwar bestehen diese aus einem Haupt-

1) D. R. P. No. 1143 B.

und einem Nebenkontakt. Der Hauptkontakt besteht aus einem Ring, in den ein geschlitztes Kupferrohr eingeschoben wird. Fig. 174, welche einen Röhrenschalter in geöffnetem Zustande wiedergiebt, lässt diese Konstruktion deutlich erkennen. Der Nebenkontakt besteht aus drei gegeneinander federnden Ringsegmenten aus Kupfer, zwischen welche ein massiver Kupferstift geschoben wird. Die beweglich angeordneten Kontakte sind auf einer Brücke vereinigt, die durch Hebel gehoben oder gesenkt werden kann; die Bewegung wird durch Prellfedern begrenzt. Beim Einbau in Schalttafeln werden diese Schalter auf der hinteren Seite montiert; die Bedienung findet von der vorderen Seite aus statt, von wo die Bewegung durch Hebel oder Seil übertragen wird, wie aus Fig. 175 hervorgeht.

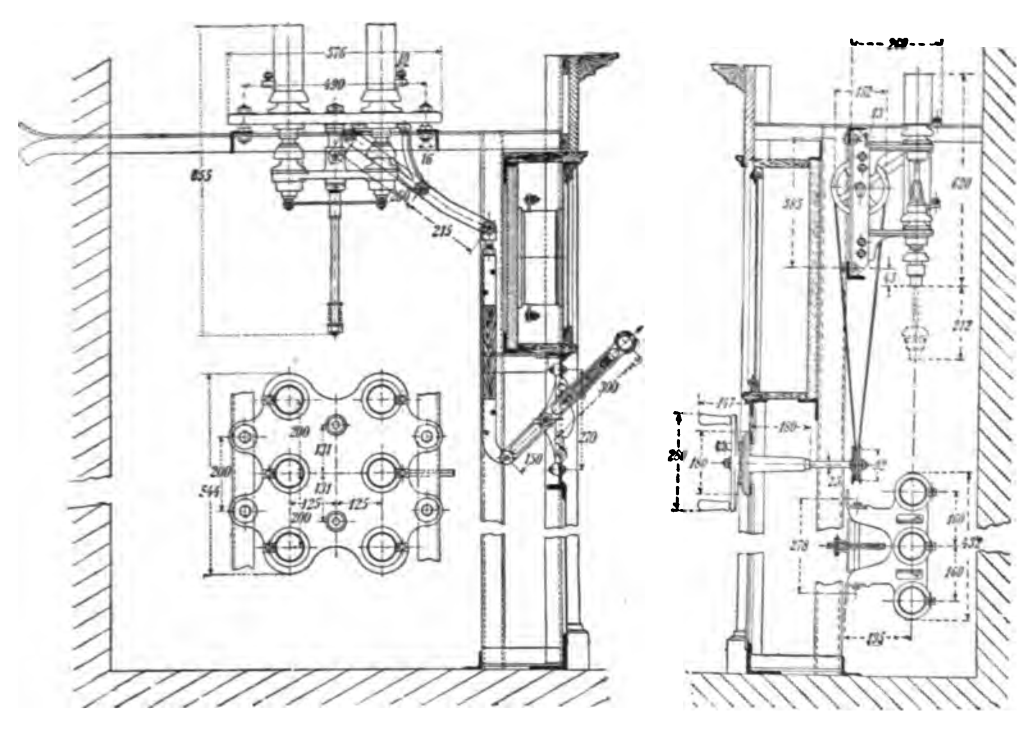


Fig. 175. Fig. 175 a.

Beim Ausschalten entsteht trotz der grossen Leistungsfähigkeit dieser Schalter nur eine meist sehr kurze und schnell erlöschende Stichflamme, welche senkrecht nach oben schiesst. Aus diesem Grunde werden sie aber möglichst hoch und so montiert, dass sich in einer Entfernung von etwa $^1/_2$ m über dem Nebenkontakt keine Leitungen befinden.

309. Zugschalter von Örlikon.

Zugschalter der Maschinenfabrik Örlikon: Diese Hochspannungsschalter sind derart konstruiert, dass die Unterbrechung des Stromes in einer Kammer in solcher Weise stattfindet, dass im Augenblicke des Ausschaltens die vom Unterbrechungsfunken erzeugten Gase den Eintritt frischer Luft verhindern und dadurch das Fortbestehen des Lichtbogens unmöglich machen. Seine Anordnung zeigt Fig. 176 in Verbindung mit einer Instrumentensäule. Es sind zwei Hebel vorhanden. Der eine dient zur Bethätigung des Zug-



Fig. 176.

schalters, welcher in diesem Falle mit einer automatischen Auslösung verbunden ist. Letztere tritt dann in Funktion, wenn beim Parallelbetrieb mehrerer Maschinen eine plötzlich zu arbeiten aufhört. Die Zugschalter sind also dadurch zu Minimalstromausschaltern ausgebildet, können aber auch durch veränderte Wicklung so umgestaltet werden, dass sie bei Maximalstrom auslösen. Der zweite Hebel dient zur Einschaltung der automatischen

Auslösung. Der Schalter wird nämlich, wenn nur der gegen die Säule zu gelegene Hebel bethätigt wird, einfach aus- und eingeschaltet, und erst die Bewegung des zweiten äusseren Hebels bewirkt die Einkehrung der automatischen Auslösung.

Diejenigen Teile von Schaltern dieses Prinzipes, welche mit den Verbrennungsgasen in direkte Berührung kommen, müssen hin und wieder gereinigt werden, da die Gase leitende Rückstände ansetzen, welche die Wirkung der Schalter beeinträchtigen.



Fig. 177 a.

3. Schalter, bei denen auf elektrodynamischem Wege der Lichtbogen zerrissen wird.

310. Hörnerschalter von Schuckert & Co.

Ebenso wie bei den Blitzableitern[1]) wird die Hörnerwirkung zur Löschung des Lichtbogens zu Hilfe genommen.

In interessanter Weise ist dieses Prinzip bei den in Fig. 177 wiedergegebenen Hörnerausschaltern von Schuckert & Co. verwendet. Auf sicher isolierenden und der Spannung angepassten, auf zwei Traversen befestigten Isolatoren sind in der üblichen Art die Hörner montiert. Diese bestehen jedoch nicht aus einem aufsteigenden Draht, sondern aus zweien, und zwar wird dieses doppelte Horn aus einem Stück gebogen. Zwischen beiden Traversen verschiebbar angeordnet ist eine dritte Traverse, auf der sich, der Anzahl der Hörnerpaare entsprechend, Isolatoren mit Kupferbügeln befinden. Diese dienen zur Vermittlung



Fig. 177 b.

1) Vgl. Hdb. VI, 1: Blitzschutzvorrichtungen.

des Stromschlusses zwischen je zwei gegenüberliegenden Hörnern, indem sie sich beim Heben der mittleren Traverse zwischen die Äste der geteilten Hörner zwängen. Beim Ausschalten wird der Lichtbogen in derselben Weise gelöscht, wie im Abschnitt „Blitzschutzvorrichtungen“ beschrieben.

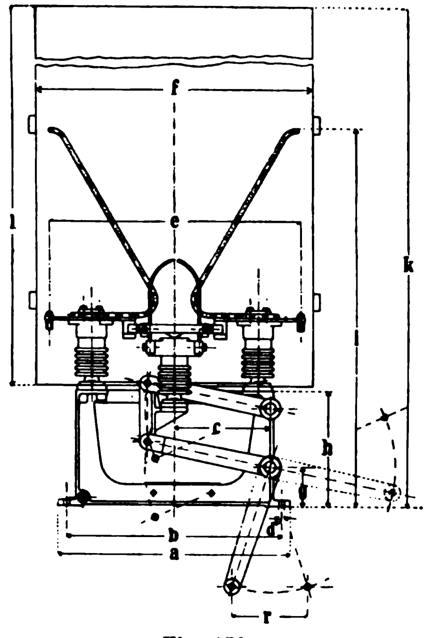


Fig. 178.

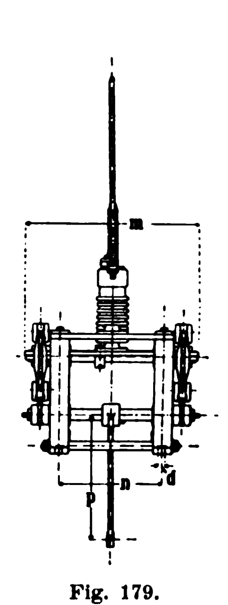


Fig. 179.

Einpoliger Hörnerausschalter.

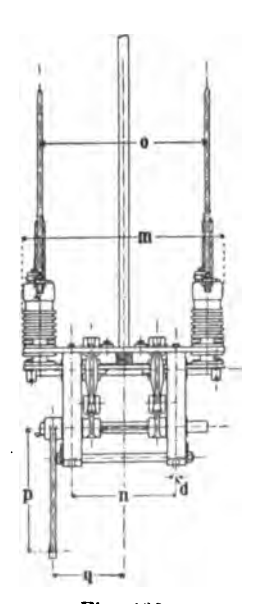




Fig. 180.

Zweipoliger Hörnerausschalter.

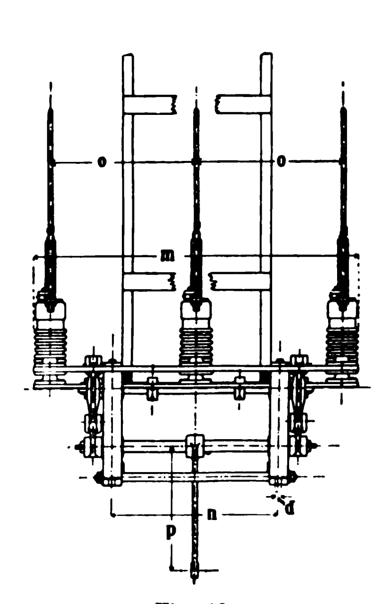


Fig. 181.

Dreipoliger Hörnerausschalter.

Tabelle No. 78.

Masse der einpoligen Hörnerausschalter (Fig. 178 u. 179) **der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg.**

Ausführung	Bestell-No.	Amp.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r
1 polig	13 520	50	470	430	180	14	500	460	72	240	725	1130	890	360	180	—	260	133 [1])	156
für	13 521	100																	
5000	13 522	200	470	430	180	14	520	460	72	240	725	1130	890	360	180	—	260	133 [1])	156
Volt	13 523	400																	
1 polig	13 540	50																	
für 10 000	13 541	100	550	515	230	14	600	650	95	275	900	1590	1300	420	250	—	300	—	180
Volt	13 542	200																	
1 polig für	13 560	50																	
20 000 Volt	13 561	100																	

1) Bei den einpoligen Schaltern zu 5000 Volt ist der Hebel seitlich angeordnet.

Masse der zweipoligen Hörnerausschalter (Fig. 178 u. 180).

Ausführung	Bestell-No.	Amp.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r
2 polig	13 525	50	470	430	180	14	500	460	72	240	725	1130	890	380	180	300	260	133	156
für	13 526	100	470	430	180	14	520	460	72	240	725	1130	890	380	180	300	260	133	156
5000	13 527	200	470	430	180	14	520	460	72	240	725	1130	890	430	180	350	260	133	156
Volt	13 528	400																	
2 polig	13 545	50	555	515	230	14	600	650	95	275	900	1590	1300	485	250	400	300	171	180
für 10 000	13 546	100																	
Volt	13 547	200	555	515	230	14	600	650	95	275	900	1590	1300	535	300	450	300	196	180
2 polig für	13 563	50	670	630	285	15	710	—	95	285	1050	—	—	600	300	500	332	198	180
20 000 Volt	13 564	100																	

Masse der dreipoligen Hörnerausschalter (Fig. 178 u. 181).

Ausführung	Bestell-No.	Amp.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r
3 polig	13 530	50	470	430	180	14	500	460	72	240	725	1130	890	580	260	250	260	—	156
für	13 531	100	470	430	180	14	520	460	72	240	725	1130	890	580	260	250	260	—	156
5000	13 532	200	470	430	180	14	520	460	72	240	725	1130	890	680	360	300	260	—	156
Volt	13 533	400																	
3 polig	13 550	50	555	515	230	14	600	650	95	275	900	1590	1300	785	400	350	300	—	180
für 10 000	13 551	100	555	515	230	14	600	650	95	275	900	1590	1300	885	500	400	300	—	180
Volt	13 552	200																	
3 polig für	13 566	50	670	630	285	15	710	—	95	285	1050	—	—	1000	580	450	332	—	—
20 000 Volt	13 567	100																	

311. Hörnerausschalter von Voigt & Haeffner.

Der Hochspannungshörnerausschalter von Voigt & Haeffner wird von der Schalttafel aus durch einen besonders dafür eingerichteten Hebelantrieb bedient, welcher letztere in Fig. 182 veranschaulicht ist.

Mit dem Handhebel, welcher sich an dem Hebelantrieb befindet, wird ein Bogen von 180⁰ beschrieben, so dass der Angriffspunkt des Gestänges eine

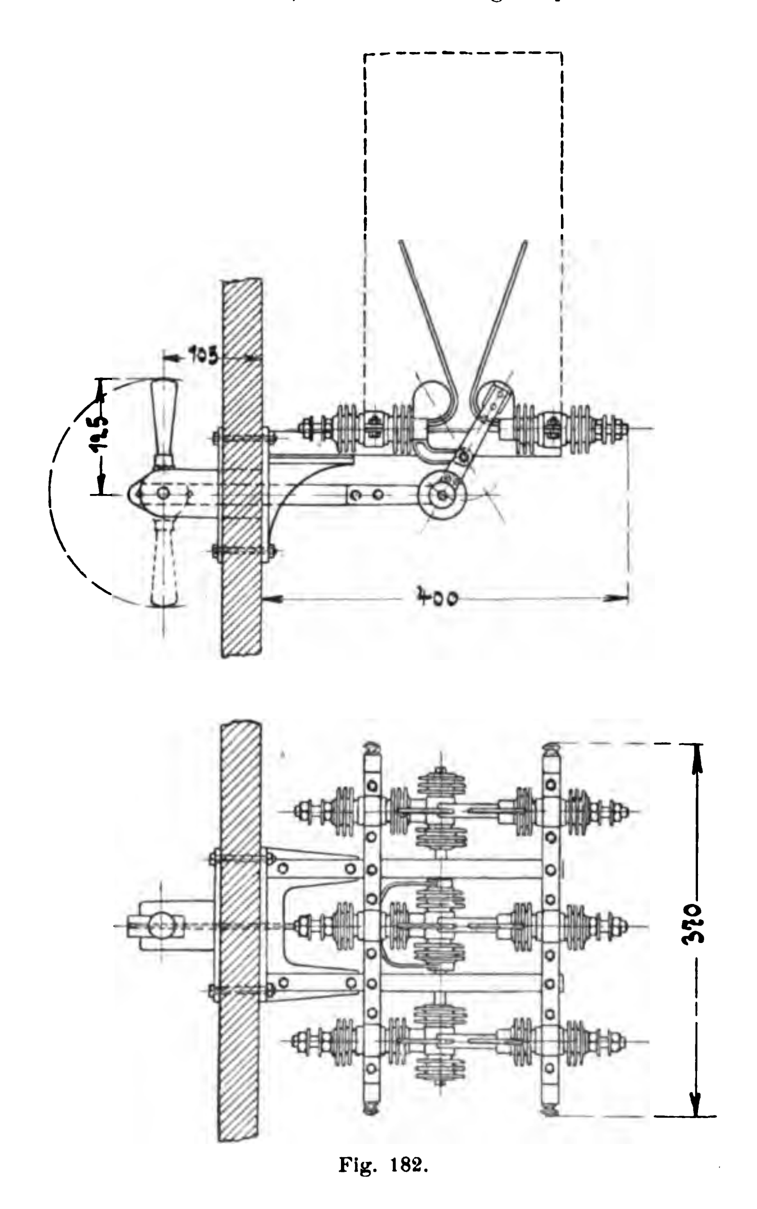


Fig. 182.

halbe Kurbelbewegung macht; da aber der in Funktion gebrachte Schalterteil nur einen Bogen von ca. 60⁰ beschreibt, entsteht eine der Kolbenbewegung der Dampfmaschine ähnliche Bewegung. Um heftig schlagende Bewegungen der Schalterteile in Rücksicht auf die erfolgte Verwendung von Porzellan als Konstruktionsmaterial zu vermeiden, ist die Schalterfunktion so eingerichtet, dass sie im Anfang sehr langsam, in der Mitte schnell und dann

wieder langsam wirkt; auch für Apparate für grössere Stromstärken ist diese Anordnung von Bedeutung.

An jedem Pol des Schalters sind zwei Kontaktstücke mit Hörnern angebracht, welche vom Gestell durch Porzellanteile mit Anschlussbolzen isoliert sind. Ein Kontaktstück läuft in einem kleinen armartigen Fortsatz mit dem beweglichen und drehbaren Schalterteil aus, welcher wiederum bei der Schaltbewegung von dem einen zum anderen Kontaktstück herübergedreht wird. In den ca. 30 mm betragenden Zwischenraum zwischen den beiden Kontaktstücken wird demnach der Lichtbogen beim Ausschalten eingeleitet und verläuft zwischen den beiden Hörnern nach oben.

Wenn der Apparat über der Schalttafel angebracht ist, wird genau dieselbe Schalteranordnung angewendet, und zwar wird ein Stangenantrieb aus leichtem Stahlrohr hergestellt, welcher an den Gelenken Nachstellvorrichtungen hat. Für andere Betriebsanordnungen kann man diesen Stangenantrieb mit einfachen Winkelübertragungen versehen.

Mastschalter für Hochspannungs-Fernleitungen: Um einzelne Strecken weitverzweigter Hochspannungsnetze in sich abzuschliessen, bedient man sich sogenannter Mastschalter, von denen Fig. 183 (Voigt & Häffner) ein Beispiel zeigt. Die Art der Befestigung, Konstruktion und Handhabung ist aus dieser Abbildung ersichtlich. Der Schalter ist auf einem starken gusseisernen Bock gelagert; die beiden seitlichen Isolatoren tragen die metallenen Anschlussstücke, welche direkt zum Abspannen der Leitungen dienen. In der Mitte des gusseisernen Bockes lagert ein beweglicher dritter Isolator mit Metallkappe, worauf das Kontaktmesser angebracht ist. Dieses steht durch ein weiches Kupferband mit einem seitlichen Isolator in leitender Verbindung.



Fig. 183.

Der Schalter wird nunmehr durch Umlegen des mittleren Isolators in die eine oder andere Lage geschlossen bezw. geöffnet. Schaltet man aus, so steigt der Lichtbogen, wie bekannt, an beiden Hörnern in die Höhe und erlischt. Auch die in Fig. 171 gezeigten Hebelausschalter mit grosser Schlagweite können in einfacherer Form zu dem genannten Zweck verwendet werden.

4. Ölschalter.

313. Wirkungsweise der Ölschalter.

Überall da, wo man im Raum sehr beschränkt ist, wo die Entzündung explosibler Gase von Staub und Fasern durch den beim Abschalten auftretenden Lichtbogen zu erwarten steht, z. B. in Bergwerken, in denen schlagende Wetter auftreten und dergleichen, werden die Stromunterbrechungen in vollständig geschlossenen Kästen und unter Öl vorgenommen, weil nicht

allein der Lichtbogen hierdurch sehr klein, sondern auch durch Öl eine energische Abkühlung erreicht wird. Sauerstoff zur Verbrennung fehlt. Aus Versuchen mit durchsichtigem Öl hat man festgestellt, dass der Lichtbogen bedeutend kleiner ist, wenn die Schaltbewegung sehr rasch erfolgt, so dass eine Momentunterbrechung in diesem Falle wohl angebracht, während sie bei den Hörnerschaltern zwecklos ist.

Der Gedanke, den Schalter unter Ölabschluss zu öffnen, stammt von C. E. L. BROWN, die erste Anlage, welche mit derartigen Schaltern eingerichtet wurde, war die Hochspannungsanlage in Paderno, die, von BROWN, BOVERI & Co., Baden, erbaut, mit einer Betriebsspannung von 12000 bis 15000 Volt arbeitet.

Von hier aus nahm die Konstruktion ihren Weg nach Amerika, wo ihre Fabrikation bereits grössere Dimensionen angenommen hatte, als man begann, ihre Vorteile in Europa zu würdigen.

Der Ölschalter unterbricht den Lichtbogen nach wenigen Wechseln, und zwar soll selbst bei Leistungen von 30000 Kilowatt und Spannungen bis

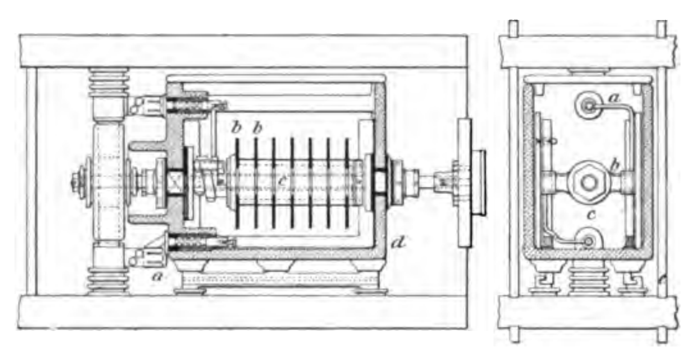


Fig. 184.

60000 Volt, selbst bei heftigem Kurzschluss die Abschaltung noch durchaus betriebssicher erfolgen.[1])

313. Ölschalter von Ferranti. FERRANTI hat für die Überlandzentrale in Wednesbury einen Ölausschalter für Spannungen bis 15000 Volt gebaut,[2]) wie er in einer für 1000 Kilowatt bestimmten Konstruktion durch Fig. 184 erläutert wird. Die Stromunterbrechung erfolgt zunächst an einem Hauptkontakt *a*, zu dem jedoch sieben auf einer Walze *c* aus Ambroin angebrachte Schalter *b* parallel geschaltet sind; diese Walze befindet sich mit sämtlichen Schaltern und den dazu gehörigen federnden Kontaktstücken in einem Gefäss aus Porzellan *d*, welches mit Öl gefüllt wird. Zum Zwecke des Ausschaltens wird dieses Gefäss, an dessen Rückseite sich der Hauptkontakt befindet, auf der Laufschiene *e* herausgezogen, wodurch zunächst der Hauptkontakt geöffnet wird. Gleichzeitig aber wird eine Feder ausgelöst, welche die drehbar angeordnete Walze herumwirft, so dass nunmehr an 14 Stellen gleichzeitig die Stromunterbrechung stattfindet.

314. Ölschalter von Siemens & Halske. Bei den Ölausschaltern von SIEMENS & HALSKE (Fig. 185) sind die Kontakte in Glaszylindern angeordnet, welche mit reinem Paraffinöl angefüllt

1) ETZ 1903, S. 321; NIETHAMMER, Über die Leistung von Ölschaltern. Vgl. auch ETZ 1903, S. 275. Der Vorteil der Ölschalter im Gegensatz zu anderen Ausschaltertypen wird auch betont in Ecl. él. Bd. 31, S. 77.

2) The Electrician, London, Oktober 1902.

sind. Die Schalter werden so angebracht, dass der untere Teil nach Lösung der seitlichen Verschlusshaken abgehoben werden kann. Um den unteren gegen den oberen Teil, an welchem letzteren der ganze Schaltmechanismus angebracht ist, luftdicht abzuschliessen, besitzt der Kasten am oberen Teil eine Rinne, in welche der Deckel eingreift. Der Abschluss erfolgt durch konsistentes Fett.



Fig. 185.

Werden mehrere Schalter nebeneinander angeordnet, so wird die Anordnung so getroffen, dass die Schalterachsen senkrecht zur Wand stehen (Fig. 188). Zwischen den Apparaten braucht nur soviel Platz gelassen zu werden, dass die Verschlusshaken geöffnet werden können. Man sieht hieraus, welche gedrängte Anordnung bei absoluter Sicherheit mit diesen Schaltern ermöglicht wird.

Für die Einführung der Leitungen in den Schalter sind die an anderer Stelle dieses Bandes[1]) beschriebenen Durchführungsklemmen verwendet. Dadurch, dass die Leitungen am festgelegten Teil des Gehäuses befestigt sind, ist es nicht erforderlich, sie zu entfernen, wenn der Kasten geöffnet wird.

315. Ölschalter der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft.

Fig. 186 zeigt eine Konstruktion der Ölschalter, wie sie von der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft für Spannungen von 3000 bis 15000 Volt und Stromstärken von 300 resp. 100 Amp. gebaut werden. Ebenso wie bei der vorher erwähnten Schaltertype von SIEMENS & HALSKE ist auch hier der Deckel als Träger des ganzen

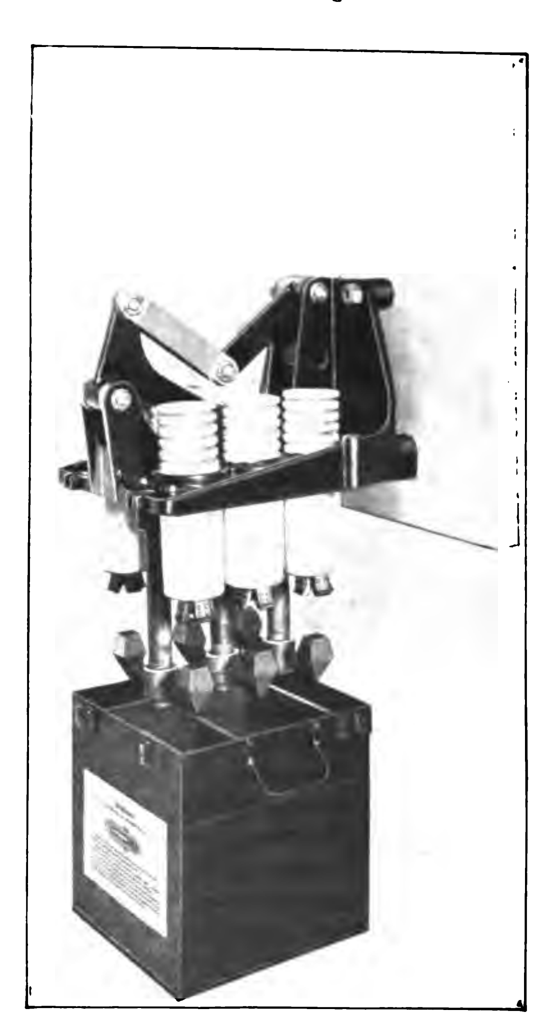


Fig. 186.

1) Hdb. VI, 2.

Schaltmechanismus ausgebildet. Die Kontakte bestehen aus Federn, an deren Enden Metallstücke befestigt sind, um durch deren grosse Masse eine schnellere Ableitung der beim Abschalten entstehenden Wärme zu erreichen. Die Enden der Verbindungsbrücke tragen ein nach oben konisch zugehendes vierseitiges Prisma, an dessen Flächen sich die Kontaktfedern anlegen. Wenn die Brücke gehoben wird — die Bewegung erfolgt durch einen Kniehebel, dessen Schnellpunkt gerade im Moment des Ausschaltens einen grossen Weg zurücklegt — so pressen sich diese Prismen zwischen die Federn. Die Brücke ist besonders breit gehalten und wird hierdurch beim Ausschalten das Öl in lebhafte Bewegung gebracht. Es tritt infolgedessen mit grosser Geschwindigkeit in den Weg des Unterbrechungsfunkens und ausserdem werden hierdurch etwaige verbrannte Ölteilchen aus dem Bereiche des Kontaktes getrieben.

Für Spannungen über 10 000 Volt und für die Schaltung grösster Leistungen baut die Union-Elektrizitäts-Gesellschaft Ölschalter, die zwar auf

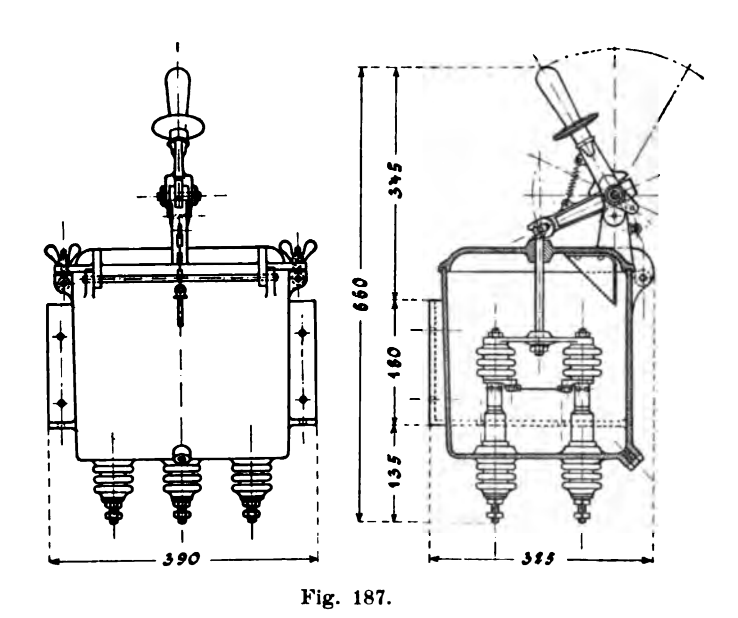


Fig. 187.

demselben Prinzip beruhen, die jedoch für jede Phase vollständig voneinander getrennte Ölbehälter bekommen. Diese Anordnung, die die einzelnen Phasen und Unterbrechungsstellen vollständig unabhängig voneinander macht, gewährleistet grösste Sicherheit, bedingt dagegen wegen der Schwere ihrer Konstruktion mechanischen oder elektrischen Antrieb.

Bei dem Ölausschalter von Voigt & Haeffner sind alle beweglichen und stromführenden Teile an dem Deckel eines gusseisernen Kessels, welcher als Ölbehälter dient, angebracht. Eine Kombination von Hochspannungsausschalter und Sicherung, welche in Fig. 187 dargestellt ist, hat sich als recht vorteilhaft erwiesen.

316. Wahl und Anordnung der Hochspannungsschalter.

Will man Ölschalter nicht direkt hinter der Schaltwand anbringen, so werden sie in einem tieferen Geschoss aufgestellt, genau wie es in Fig. 176 gezeigt ist. Im übrigen ist auch eine freie Aufstellung dieser Schalter, wie sie im Wilhelmsschacht des Zwickau-Oberhohndorfer Steinkohlenbau-Vereins gewählt ist (Fig. 188), angängig, da sie vorzüglich isoliert sind, somit auch

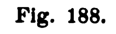

ren! Hochspannung! Lebensgefährlich!
skabel I. Zuführungskabel II.
Pumpe I.
Pumpe II.
Transformator.
Ein.
Aus.
Ein.
Aus.
Ein.
Aus.
Ein.

Fig. 188.

die persönliche Sicherheit eine sehr grosse ist. In diesem Fall sind Ölschalter von SIEMENS & HALSKE verwendet.

Wenn man beim Bau einer Anlage zwischen einem Röhren-, Hörner- oder einem Ölschalter wählen kann, so wird man in der Regel bei sehr hoher Spannung und kleiner Stromstärke Ölschalter, bei grösserer Stromstärke Röhren- oder Hörnerschalter vorziehen. Bei den Ölschaltern hat man allerdings den Vorzug einer gedrängten und gedeckten Anordnung, doch ist bei offen angeordneten Schaltern eine Übersichtlichkeit aller Teile und leichte Kontrolle auch während des Betriebes ein grosser Vorteil, dagegen wird vielfach an der lebhaften Ausbildung des Lichtbogens bei dem Hörnerschalter Anstoss genommen, so dass man bei der Wahl die lokalen Verhältnisse, auf die weiter oben bereits hingewiesen wurde, weitgehend berücksichtigen muss.

5. Hochspannungsschalter, bei denen der Lichtbogen durch Pressluft ausgeblasen wird.

317. Schalter der Helios-Elektrizitäts-Gesellschaft und andere.

J. FROITZHEIM beschreibt einen von ihm angegebenen Hochspannungsausschalter[1]) der Helios-Elektrizitäts-Gesellschaft, der in Verbindung mit dem von der gleichen Firma auf der Pariser Weltausstellung 1900 aufgestellten grossen Generator ausgestellt war. Seine Anordnung (Fig. 189) weicht bezüglich der Konstruktion der Schaltmesser und des ganzen Schaltteiles wenig von der allgemein beim Helios üblichen Form ab, dagegen ist die Funkenlöschung dadurch erreicht, dass im Moment des Ausschaltens aus nahe an die Unterbrechungsstellen gelegten Hartgummidüsen Pressluft unter einem Druck von 20 Atmosphären zwischen die in Öffnung begriffenen Kontakte geschleudert wird, die den Lichtbogen schnell auseinandertreibt. Der Schalter ist als Automat ausgebildet, der auf beliebige Stromstärken eingestellt werden kann. Die Pressluft wird im vorliegenden Falle von einer kleinen, durch einen Drehstrommotor angetriebenen Pumpe hergestellt. Die Regulierung erfolgt automatisch derart, dass immer der gleiche Druck von 20 Atmosphären im Reservoir herrscht.

Die von der Westinghouse-Co. für die Generatoren[2]) von 5000 PS in der Zentrale an den Niagarafällen gebauten Schalter beruhen auf dem gleichen Prinzip.

In ähnlicher Weise versucht nach dem D. R. P. No. 133 836 PARTRIDGE den beim Ausschalten auftretenden Lichtbogen auszublasen, wobei er den hierzu erforderlichen Luftdruck erst im Moment des Ausschaltens entstehen lässt. Er umgiebt den Schalter mit einem geschlossenen Behälter, indem er ein unter Druck stehendes Mittel einschliesst. Es wird hierzu Kohlensäure, Schiesspulver und dergleichen als verwendbar bezeichnet. Im Moment der Unterbrechung wird das Ausfluss-Ende des Behälters geöffnet, wodurch das unter Druck stehende Gas gegen den Lichtbogen geschleudert wird.

Ob indessen die Anwendung von Schiesspulver ratsam ist, ist, abgesehen von anderen Gründen, auch aus dem Grunde zweifelhaft, weil sich bei der

1) ETZ 1900, S. 978.
2) CASSIER's Magazine, Niagara number, S. 281 bis 292.

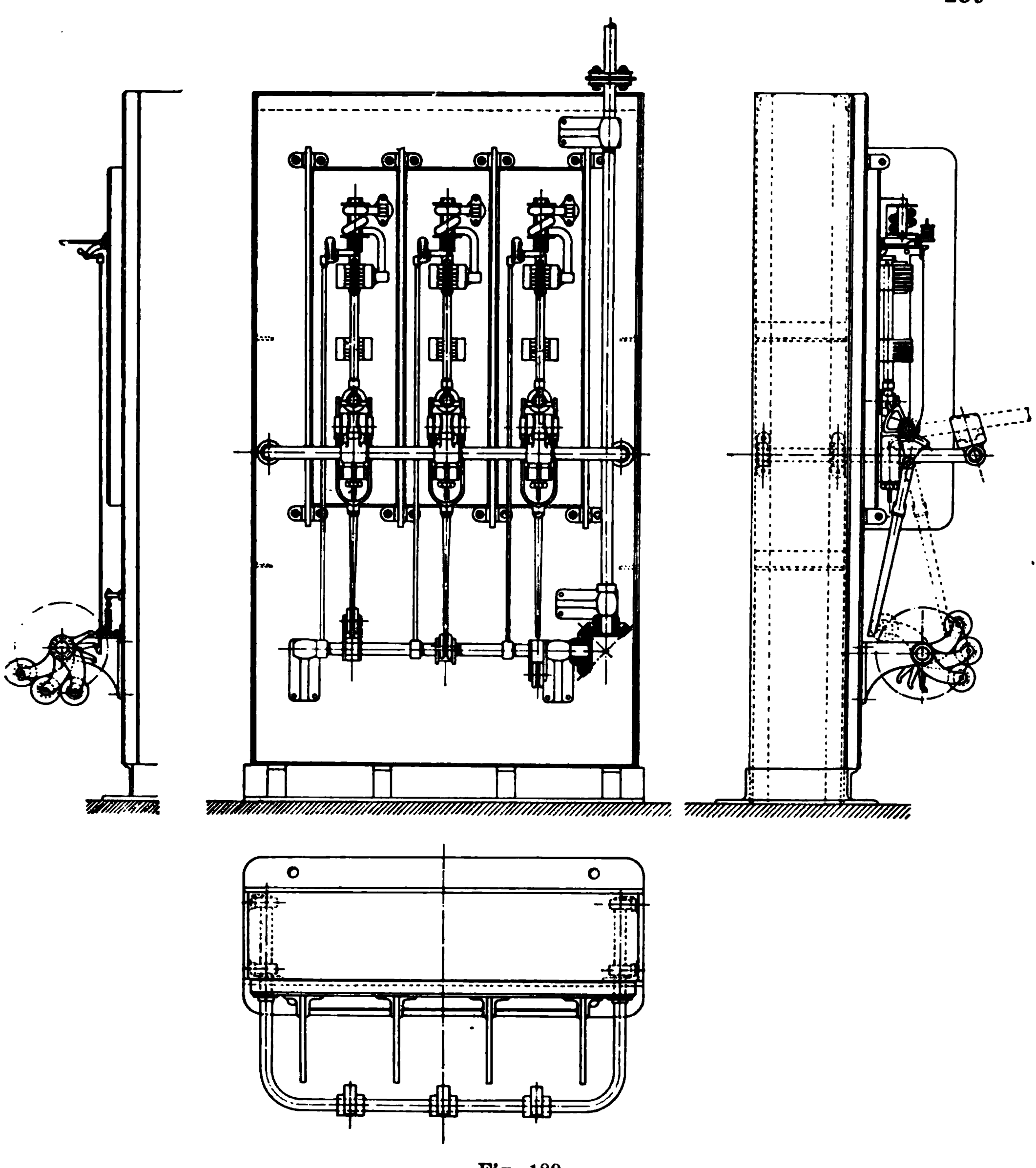


Fig. 189.

zur Entwicklung der Gase nötigen Explosion Verbrennungsprodukte niederschlagen werden, welche die Isolierfähigkeit des Schalters stark beeinträchtigen dürften.

Trennschalter.

318. Trennschalter von Voigt & Haeffner.

Sehr wesentlich, wenn auch unbedeutend erscheinend, sind in einer guten Hochspannungsanlage die Trennschalter. Diese haben den Zweck, im Falle irgend einer Reparatur einen Teil der Anlage ausser Strom zu setzen, während in dem anderen der Betrieb aufrecht erhalten wird. Mit diesem Schalter darf jedoch die Strecke nur spannungslos gemacht werden, für die

Unterbrechung des Stromes ist er nicht geeignet, so dass, da eine Lichtbogenbildung nicht eintreten kann, auf diese bei der Konstruktion auch keine Rücksicht genommen wurde.

In Fig. 190 u. 191 sind zwei derartige Trennschalter von Voigt & Haeffner dargestellt, welche einfach und zweckmässig sind. Die Type Fig. 190 dient zum Trennen von Sammelschienen, der Apparat nach Fig. 191 jedoch für die Abtrennung der von den Sammelschienen abgehenden Leitungen.

Man wird die Anordnung dieser Schalter so treffen, dass im Falle einer Erweiterung oder Störung bestimmte Teile zugänglich gemacht werden können. Auf jeden Fall müssen aber die Sammelschienen von den Zu- und Ableitungen trennbar sein. Auch pflegt man oft die Hauptzähler durch vor- und nebengeschaltete Trennschalter zugänglich zu machen.

Der abgeschaltete Teil der Anlage muss natürlich stets geerdet und kurzgeschlossen werden,[1]) wenn irgend welche Arbeiten an demselben ausgeführt werden sollen.



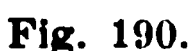


Fig. 190.



Fig. 191.

Automatische Schalter.

319. Verwendungszweck der Automaten.

Um die Leitungen und die in sie eingeschalteten Apparate u. s. w. gegen eine Überlastung durch den elektrischen Strom und demzufolge eintretende zu grosse Erwärmung zu schützen, werden ja im allgemeinen die aus einem leicht schmelzbaren Material bestehenden Sicherungen verwendet, welche den Stromkreis bei geeigneter Konstruktion und Dimensionierung schnell und sicher unterbrechen.

Das Durchschmelzen der Sicherung bedingt aber eine mehr oder weniger lange Unterbrechung des Betriebes, da das Einsetzen neuer Schmelzeinsätze, insbesondere, wenn es sich um hohe Stromstärken handelt, immerhin einige Zeit in Anspruch nimmt. Die Sicherungen werden daher in allen denjenigen Anlagen als störend empfunden werden, in denen häufig Überlastungen eintreten, die zwar nur kurze Zeit währen, aber ausreichen, um die Sicherung in Thätigkeit zu setzen. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Stromkreise für Kraftzwecke, für Bahnanlagen und dergleichen. — In solchen Fällen tritt an die Stelle der Sicherung der meistens ebenso sicher wirkende automatische Ausschalter, der vor jener aber den Vorzug hat, dass er durch einen einfachen Handgriff schnell wieder geschlossen werden kann, sobald er infolge einer Überlastung in Thätigkeit getreten war. In der Regel sind

1) Vgl. Hdb. VI, 2: Persönliche Sicherheit.

die Automaten mit Funkenlöschvorrichtungen versehen, die eine energische Unterbrechung des Lichtbogens herbeiführen.

Um die Bedienung zu erleichtern, können sie auch mit elektrischen Meldevorrichtungen in Verbindung gesetzt werden, die hauptsächlich dann von Wert sind, wenn eine grössere Anzahl von Apparaten in Frage kommt. Bei geeigneter Einrichtung lässt sich diese Meldevorrichtung auch so ausgestalten, dass es, ohne den Schalter zu schliessen, möglich ist, zu erkennen, ob der Kurzschluss, bezw. die Überlastung, welche das Herausfallen des Automaten bedingte, noch besteht oder nicht.

Man wird am zweckmässigsten in Zentralen, in denen eine grössere Anzahl automatischer Stromunterbrecher installiert ist, Signalvorrichtungen anbringen, so dass der Maschinenwärter erkennen kann, welcher der Automaten ausgeschaltet hat. Das Signal kann auf akustischem oder optischem Wege gegeben werden.

Für bestimmte Zwecke, z. B. Heben von Lasten in Krananlagen, werden Automaten verwendet, welche bei Überlastung ausschalten, aber sowie die Überlastung aufgehört, selbstthätig wieder einschalten. In der Regel treten bei derartigen Betrieben die anormalen Belastungen dadurch auf, dass die Güter nicht senkrecht gehoben, sondern schräg, eventuell aus engen Schiffsluken herangeholt werden.

Aber nicht allein der Schutz der Anlagen gegen Überlastung macht den Automaten zu einem ungemein nützlichen Apparat, sondern er verhütet auch, dass z. B. in Anlagen mit Akkumulatorenbetrieb Strom aus der Batterie in die Maschinen fliessen kann, indem er den Stromkreis unterbricht, wenn der Strom unter eine gewisse Grenze gesunken ist.

Ein ausgedehnter Wirkungskreis ist dem Automaten in der Fernschaltung zugewiesen, sei es, dass er benutzt wird, um von vielen Stellen einer Fabrik aus die Betriebsmaschine im Momente der Gefahr sofort stillzusetzen, sei es, dass er, um die Wirtschaftlichkeit von Anlagen mit ausgedehntem Transformatorenbetrieb zu steigern, die Transformatoren selbstthätig ausschaltet, wenn sie leer laufen und wieder einschaltet, wenn Strom entnommen wird.

Auch bei der Fernschaltung von Glüh- und Bogenlampen finden sie ausgedehnte Verwendung.

320. An den Automaten zu stellende Anforderungen.

An einen derartigen automatisch wirkenden Apparat werden nun zahlreiche Anforderungen gestellt: Er soll selbst bei den heftigsten Kurzschlüssen sicher ausschalten und auch sofort wieder fähig sein, erneut in Funktion zu treten. Es muss ein Nebenkontakt und ein kräftiger Funkenbläser vorhanden sein, damit bei Kurzschluss der Funke plötzlich gewaltsam unterdrückt wird, um nicht erst eine gefahrdrohende Stromstärke und eine Beschädigung der Hauptkontakte zuzulassen.

Ferner muss der Apparat so empfindlich sein, dass die Auslösung stets bei nahezu gleicher Stromstärke wirkt; trotzdem darf aber eine Beschädigung desselben nicht eintreten. Geschieht das Einschalten vor gänzlicher Beseitigung des Kurzschlusses, so darf ein Umherspritzen glühender Metallteilchen, wodurch der Bedienende verletzt werden könnte, nicht vorkommen.

321. Empfindlichkeit der Automaten. Elektromagnetische Auslösung.

Die Empfindlichkeit eines Automaten hängt nun im wesentlichen von der elektromagnetischen Auslösung ab. Dieselbe kann in drei verschiedenen Anordnungen erfolgen.

1. Der Anker wird erst dann durch den Elektromagneten angezogen, wenn der Strom eine gewisse Grenze überschreitet (Maximalautomaten).
2. Der Anker ist während des Betriebes angezogen und fällt ab, wenn der Strom unter eine gewisse Grenze sinkt (Minimalautomaten).
3. Der Automat ist abhängig von einem Relais, welches erst im geeigneten Moment einen Stromstoss in die Wicklungen des Elektromagneten sendet (Maximal- oder Minimalautomaten).

Im ersteren Falle wird die gewünschte Genauigkeit stets erreichbar sein, der Apparat wird um so sicherer und schneller in Funktion treten, je schneller die Stromerhöhung eintritt.

Nicht so günstig ist die Wirkung bei Minimalautomaten und es wird nicht immer ein präzises Ausschalten bei der stets gleichen Stromstärke erreicht werden können, da der Zeitpunkt des Ausschaltens durch die Stärke der vorher stattgefundenen Magnetisierung des Eisenkernes sehr verschoben werden kann. Der Automat wird bei um so niedrigerer Stromstärke ausschalten, je stärker die Magnetisierung gewesen ist.

Tritt ferner der Rückgang des Stromes sehr schnell ein, so kann bereits Rückstrom eingetreten sein, ohne dass der Automat seine Schuldigkeit gethan hätte und der Anker bleibt, nachdem sich der Apparat umgepolt hat, im angezogenen Zustande.

Der dritte Fall schliesslich kann bei geeigneter konstruktiver Durchbildung grosse Vorteile bieten, insbesondere dadurch, dass derselbe Automat verwendet werden kann, gleichgültig, ob er bei maximalem oder minimalem Strom ausschalten oder als Rückstromschalter wirken soll. Es ist hierbei nur erforderlich, das Relais so durchzubilden, dass es dem Verwendungszwecke des Automaten entsprechend anspricht. Auf S. 272 u. 283 dieses Bandes wird ein Hochspannungsautomat besprochen, dessen Auslösung in der hier besprochenen Art erfolgt.

Maximal- und Minimalautomaten.

322. Maximalautomaten von Siemens & Halske.

Einen Maximalausschalter für Gleichstrom von Siemens & Halske zeigt Fig. 192. Diese Apparate sind auch da verwendbar, wo auf starke Kurzschlüsse zu rechnen ist, wie z. B. in Bahnbetrieben. Sie sind mit einer Kontaktvorrichtung zur Bethätigung einer Signalvorrichtung ausgerüstet. Ihre Konstruktion ist für die Montage auf Schalttafeln eingerichtet, und zwar in der Weise, dass der Funkenlöscher hinter der Schalttafel liegt. Bei der Montage müssen daher die einzelnen Bestandteile des Funkenlöschers abgenommen werden, was nach Lösung einiger kenntlicher Schrauben ohne Schwierigkeit zu ermöglichen ist. Beim Wiederansetzen des Funkenlöschers ist sorgfältig darauf zu achten, dass sämtliche Teile wieder die ursprüngliche Lage erhalten. Bei einem richtig montierten Apparat müssen beim Ausschalten die Hauptbürsten bereits sicher abgehoben sein, bevor die im Nebenschluss zu den Hauptbürsten liegenden Kontakte des Funkenlöschers geöffnet werden, und umgekehrt muss beim Einschalten zuerst der Funkenlöscher Kontakt geben und dann erst dürfen die Hauptbürsten nachfolgen. Die Bewegungsvorgänge im Funkenlöscher können bequem beobachtet werden, wenn die hintere Abschlussplatte, die durch Flügelmuttern gehalten ist zur

Seite gedreht wird. Während des Betriebes müssen die Kontakte des Funkenlöschers von Zeit zu Zeit, namentlich aber nach heftigen Kurzschlüssen, nachgesehen und nötigenfalls durch neue Teile ersetzt werden.

Etwaige Schmelzperlen an den Kontakten des Funkenlöschers sind abzufeilen und russige Niederschläge von den isolierenden Wänden des Funkenlöscherkastens zu entfernen, weil diese ein Stehenbleiben des Lichtbogens zur Folge haben können. Die Gelenke und Lager der Schalter sind ab und zu leicht zu ölen.

Der Automat wird durch Rechtsdrehen des in der Figur sichtbaren Handrades eingeschaltet, hierbei legen sich die federnden Kontakte *a*, die

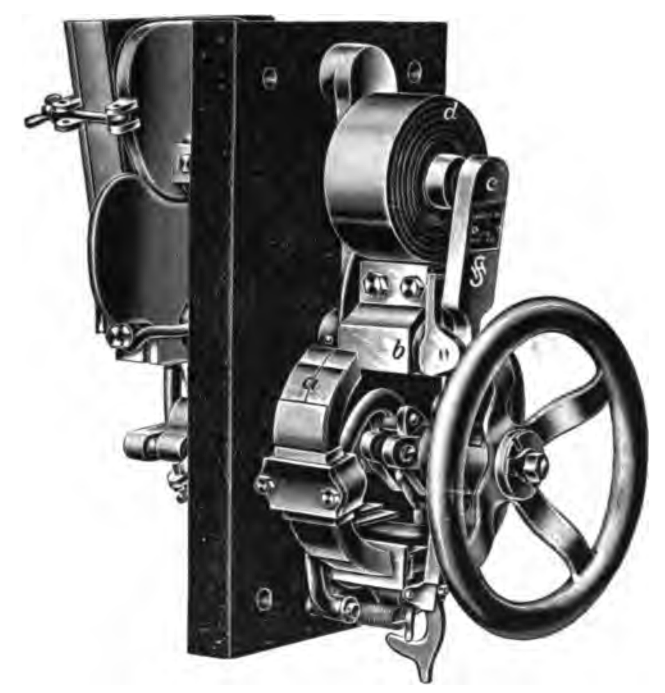


Fig. 192.

symmetrisch zu beiden Seiten angeordnet sind, an die festen Kontakte *b*. In der Endlage wird dann der Schalter durch ein Klinkwerk arretiert, welches mit dem Anker *c* in Verbindung steht. Im Falle einer zu hohen Belastung zieht der mit den festen Kontakten *b* in Verbindung stehende und aus mehreren Kupferwindungen hergestellte Elektromagnet *d* den Anker an, wodurch das Klinkwerk ausgelöst und durch eine kräftige Feder die Auslösung bewirkt wird.

Für Wechselstrom bauen Siemens & Halske den in Fig. 193 wiedergegebenen Maximalautomaten, welcher ebenfalls mit einer Funkenlöschvorrichtung versehen ist. Im übrigen erläutert sich der Apparat von selbst, ebenso wie der in Fig. 194 gezeigte und für Drehstrom bestimmte.

323. Maximalautomaten von Schuckert & Co.

Die Konstruktion von Schuckert & Co., D. R. P. No. 115807, welche in nachfolgendem näher erläutert ist, stellt die Vereinigung eines selbstthätigen Starkstromausschalters mit einem Hebelschalter dar, welche einen

gemeinsamen Griff und eine mechanische Sperrvorrichtung besitzen. An den im allgemeinen eingeführten automatischen Ausschaltern befindet sich noch ein besonderer Handausschalter, welcher im Falle der Auslösung des Automaten zuerst geöffnet und erst wieder eingeschaltet werden muss, nachdem der automatische Ausschalter vorher geschlossen wurde. Eine falsche Bedienung also in anderer als dieser Reihenfolge ist immerhin nicht ausgeschlossen, hat aber durch die Anordnung des selbstthätigen Ausschalters keine gefährlichen Folgen.

Der durch nachfolgende Abbildungen (Fig. 195) veranschaulichte Apparat bietet die beschriebenen Schutzmassregeln.

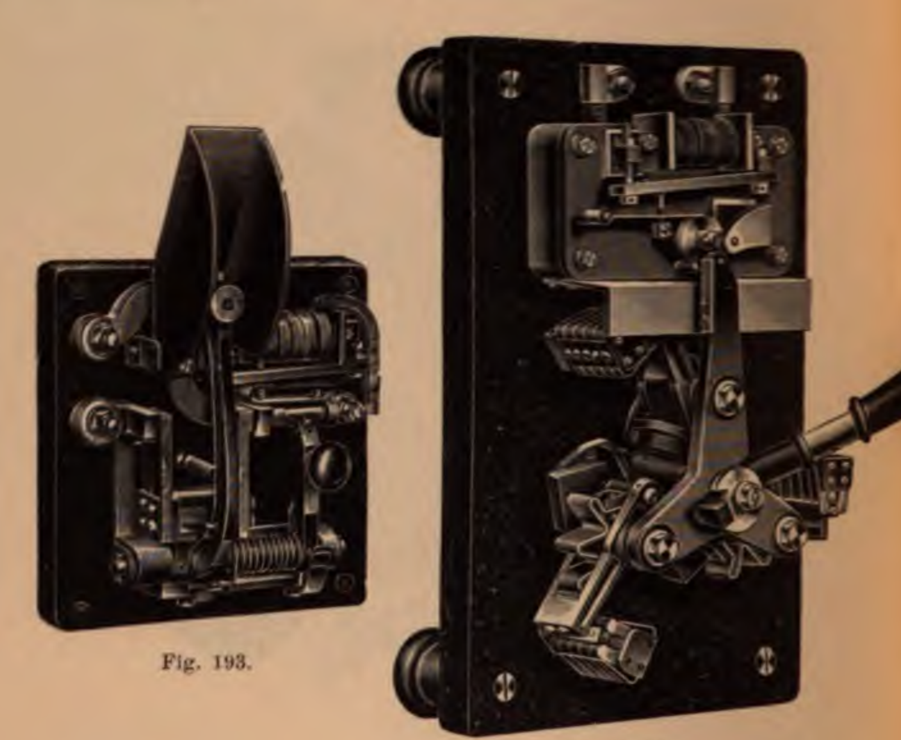


Fig. 193.

Fig. 194.

Auf einer gemeinsamen Achse *a* (Fig. 195a) ist der Hebelschalter *b*, b_1 und der elektromagnetisch ausgelöste selbstthätige Schalter *c*, *d* drehbar angeordnet. Der Hebelschalter b_1 besteht aus einem doppelten Satz Kupferfedern, welche einerseits das Horn *e* für die Stromzuführung von der Maschine, andererseits den Hebel *c* umfassen. Der selbstthätige Schalter *c*, *d* besteht aus einem Haupthebel *c*, welcher an seinem Ende mit Kupferfedern armiert ist, die sich zwischen die beiden Kontaktflächen *f* hineinpressen, und einem Nebenkontakthebel *d*, welcher sich mit seinem Kohlekontakt *g* gegen die mit *f* leitend verbundene Kohle *h* federnd anlegt.

Nur der Hebelschalter b_1 ist mit einem Griff *b* versehen; beim Öffnen desselben werden mittels des Anschlages *i* die Hebel *c* und *d* mitgenommen.

Die Bewegung des Hebels *d* wird zunächst begrenzt, indem sich die Kohle *g* gegen *h* legt, während der Hebel *c* unter Überwindung der Kraft

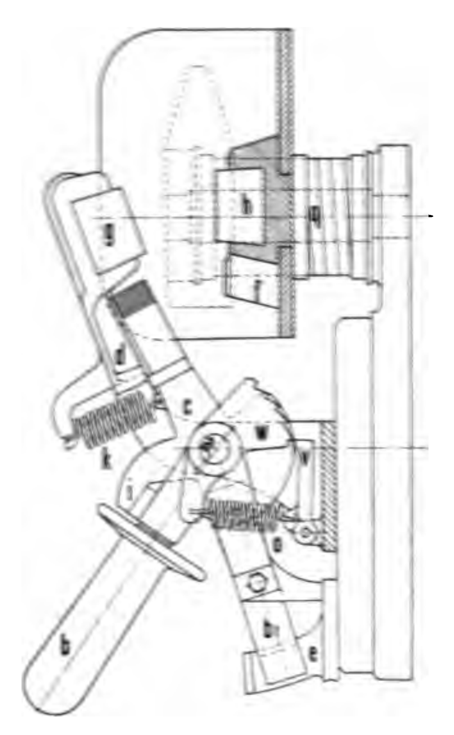


Fig. 195a.

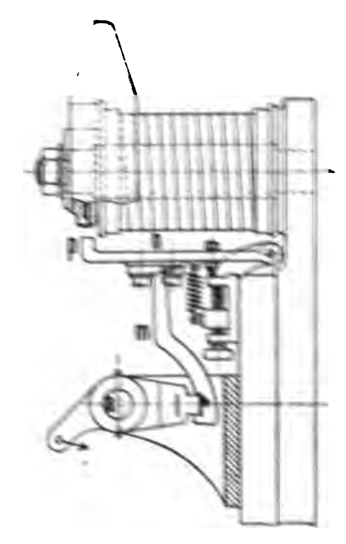


Fig. 195b.



Fig. 195c.

der Feder *k* noch um ein weiteres Stück bewegt und der Kontakt *f* geschlossen wird. Nachdem der Hebel *c* in seiner Einschaltestellung durch die später zu beschreibende Arretierung *l*, *m*, *n* (Fig. 195b) zurückgehalten ist, kann der Strom durch Rücklegung des Hebelschalters *b*, welcher bei der vorhergehenden Bewegung gleichzeitig geöffnet wurde, wieder geschlossen werden.

Die Sperrung des selbstthätigen Schalterhebels wird hergestellt, indem der Hebel *c* bezw. der fest mit ihr verbundene Hebel *l* entgegen der Wirkung der Feder *o* durch den Anker *p* des Elektromagneten *q* in seiner eingeschalteten Stellung gehalten wird. Damit aber nicht der ganze Druck der kräftigen Feder *o* auf der Schneide *n* der Auslösung ruht und diese unempfindlich macht, ist ein Übertragungshebel *m* angeordnet, welcher schaltradartig den Hebel *l* umfasst, so dass von dem Druck der Feder *o* nur ein kleiner Bruchteil auf der Schneide *n* ruht. Hierdurch ist es möglich, durch eine verhältnismässig schwache elektromagnetische Kraft eine erheblich grössere Kraft

sicher und mit Kraftüberschuss auszulösen. Die beiden Schenkel des Elektromagneten *g*, deren einer den Anker *q* anzieht, sind vom Hauptstrom in wenigen Windungen umflossen. Die Einstellung der Auslösung für eine bestimmte Stromstärke ist durch eine regulierbare Feder mit Skala nach Wunsch möglich.

Zur Unterbrechung des Stromes — sei es nun, dass dieselbe wegen Überlastung oder aus irgend einem Anlass von Hand erfolgen soll — ist lediglich der mit einem Funkenbläser versehene Schalter *c*, *d* bestimmt. Um daher die Auslösung auch von Hand bewirken zu können, ist der Anker *p* mit einem isolierten Handgriff versehen. Um ein versehentliches Ziehen des Hebelschalters unter Strom unmöglich zu machen, wird dieser von der Sperre *v* beeinflusst, welche ein Öffnen des Stromkreises mittels des Hebelschalters b_1 verhindert, wenn der selbstthätige Schalter *c* geschlossen ist. Erst nachdem der Hebel *c* ausgelöst und der Stromkreis durch ihn bereits geöffnet ist, kommt die Sperre *v* ausser Eingriff mit dem zahnradartigen Ansatz *w* von *b* und gestattet ein Öffnen des Hebelschalters b_1 (Fig. 195a).

Bei richtig arbeitenden Apparaten soll der Funke lediglich an den Kontakten *g*, *h* auftreten. Diese Kontakte bestehen aus einer vorzüglich leitenden Kupferkohle, welche auch den stärksten Kurzschlussströmen nur geringen Widerstand entgegensetzt. Ein derartiger Druckkontakt aus Kupferkohle hatte bei 100 Amp. 70 Millivolt Spannungsverlust. Für 10 000 Amp. würde sich daher erst ein solcher von 7 Volt ergeben, so dass eine wesentliche Funkenbildung am Hauptkontakt ausgeschlossen ist.

Um aber ein sicheres Arbeiten des Apparates zu gewährleisten, auch für den äussersten Fall, dass an dem Hauptkontakte *f* wider Erwarten z. B. durch völlige Abnutzung des Nebenkontakts *g*, *h* ein Funken auftreten sollte, ist der Hauptkontakt bei den Apparaten bis 400 Amp. ganz und bei grösseren wenigstens teilweise in das Funkenbläserfeld verlegt.

Die Blaswirkung des Apparates ist infolge der gedrängten Anordnung des magnetischen Blasfeldes eine sichere; dieselbe wird illustriert durch die Abbildung eines Kurzschlussversuches (Fig. 195c). Der Kurzschluss wurde mit einer Batterie von 250 Volt vorgenommen, welche durch kurze, starke Anschlusskabel mit dem Apparat verbunden war. Derselbe war für normal 400 Amp. bestimmt und so eingestellt, dass er bei 800 Amp. auslöste. Infolge der Verwendung von Kohle für den Nebenkontakt, unter Vermeidung von Metall, wird ein Umherspritzen glühender Teile vermieden und die Abnutzung des Nebenkontaktes infolge der kräftigen Blaswirkung kaum bemerkbar. Aus der Abbildung lässt sich deutlich die Wirkung des erzeugten Luftdruckes aus der äusseren Form des Lichtscheines erkennen.

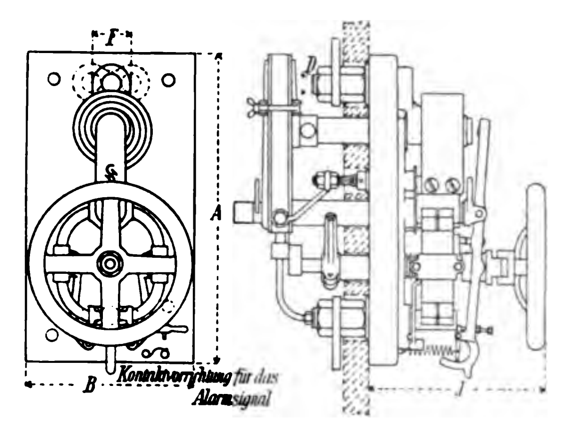
Der Funke wird bei diesen Versuchen so schnell gelöscht, dass leicht brennbare Körper, wie Seidenpapier oder Baumwollfäden, welche unmittelbar über die Ausschaltestelle gelegt wurden, bei Kurzschlüssen bis 5000 Amp. sich nicht entzündeten.

Die Tabellen No. 79 u. 80 geben die Masse einiger viel gebrauchten Automaten an.

324. Starkstrom-Automat Müller-Lux. Der automatische Starkstrom-Ausschalter, System H. Müller-Lux, gebaut von Schuckert & Co., besteht aus einem einfachen Hebelausschalter in Verbindung mit einem Elektromagneten. Die Kraft des Elektromagneten wird durch die infolge Kurzschlusses oder anderer Ursachen erhöhte Stromstärke erreicht, um den im normalen Stromkreis liegenden und durch eine Feder festgehaltenen Hebel auszuschalten.

Tabelle No. 79.

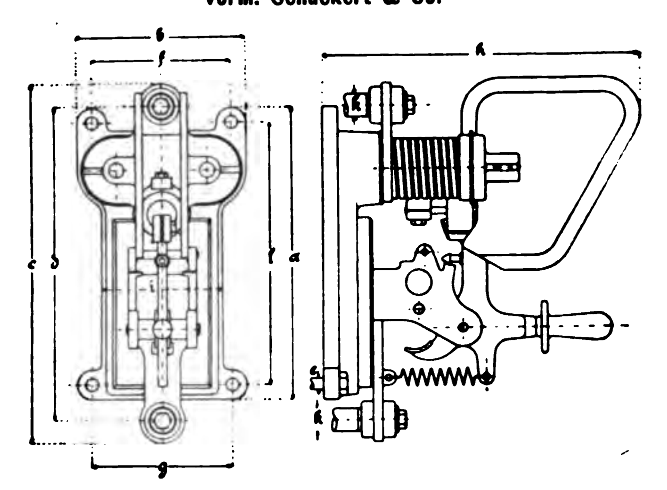
Masse der Maximalausschalter der Siemens & Halske-A.-G.



Type	Ampere	A	B	D	F	J
N.1011 a	200	360	170	13	—	190
N.1011 b	700	410	220	26	—	215
N.1011 c	1500	450	250	26	50	280

Tabelle No. 80.

Masse der selbstthätigen Starkstrom-Ausschalter für 600 Volt der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co.



Ampere	Bestell-No.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l
30 60	5231 5233	290	150	332	262	9	100	100	200	150	—	243
100	5235	258	174	290	267	9	126	142	228	114	16	230
200	5238	295	195	366	334	10	165	165	272	140	20	265
400	5242	345	200	406	368	12	160	160	300	140	28	305
700	5245	384	225	465	415	14	185	185	348	160	30	344
1000	5247	466	264		494		216	216	376	175		418

Bei der vorher beschriebenen Konstruktion wurde in Verbindung mit einem automatischen Hebelausschalter noch ein besonderer Handausschalter angewendet, der nach einem Kurzschluss bezw. nach einem Funktionieren des Hebelausschalters zuerst geöffnet und dann erst wieder geschlossen werden konnte, nachdem der automatische Ausschalter eingeschaltet war. Diese Erweiterung des automatischen Ausschalters ist zu dem Zwecke angebracht, um zu verhindern, dass ein übermässig starker Strom durch das Wiedereinschalten des automatischen Ausschalters nicht wiederholt eingeleitet werden kann, sondern unabhängig vom Willen des Schaltenden ausgeschaltet bleibt.

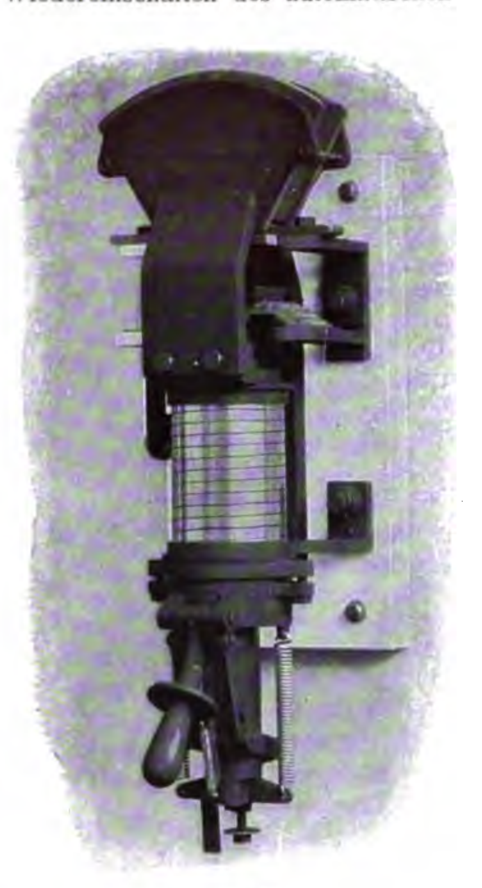


Fig. 196.

In Fig. 196 ist nun ein automatischer Ausschalter dargestellt, welcher den Übelstand des Nebenausschalters vermeidet und so konstruiert ist, dass der von dem Elektromagneten erregte Mechanismus von der Ausschaltung des Handhebels nicht abhängig ist.

Der Stromschluss wird durch ein Hauptkontaktstück *c* und ein im Nebenschlusse zu ersterem liegendes Hilfskontaktstück *d* bewirkt. Das Stück *c* ist aus dünnen Kupferfedern zusammengesetzt, wodurch beim Andrücken ein Schleifen auf der Unterlage und somit ein guter Kontakt bewirkt wird. Die gleiche Wirkung tritt bei *d* durch die federnde Anordnung der sich berührenden Teile ein. Die Stücke *c* und *d* stehen nicht in direkter Verbindung miteinander, sondern kommen beim Ein- und Ausschalten nacheinander in bew. ausser Kontakt. Das Stück *d* wird von einer Hülse getragen, welche den zylindrischen, nach oben verlängerten Träger *t* des Kontaktstückes *c* umschliesst. Am unteren Ende von *t* ist eine Röhre *m* befestigt. An den Stellen *q* und *r* ist die Röhre *m* samt dem Träger *t* senkrecht geführt. Durch den Handgriff *g* wird ein Kniehebel in Bewegung gesetzt, welcher mit einer Sperrklinke *i* in Verbindung steht; dieselbe greift in einen Vorsprung *o* der Röhre *m* ein.

Fig. 196a zeigt den unteren Teil des Apparates in ausgeschalteter Stellung, wobei die Stromschlussstücke *c* und *d* die in Fig. 196c punktiert angedeutete Stellung einnehmen. Die Hülse, welche das Stück *d* trägt, ruht in dieser Stellung auf dem Kopfe des verlängerten Trägers *t*. Wird der Handhebel *g* nach unten gedrückt, so wird durch die Sperrklinke *i* die Röhre *m* nebst dem Träger *t* mitgenommen und nach unten bewegt. Hierbei kommt zunächst das Stück *d* mit den Stücken *a* und *b* in Berührung und wird durch die Feder *f* fest angedrückt. Bei der Weiterbewegung von *d* kommt auch

das Kontaktstück c zum Schluss. Ist der Hebel g in der in Fig. 196 b gezeichneten Stellung angekommen, so ist der Kniehebel durchgedrückt und der Apparat ist vollständig eingeschaltet (Fig. 196 c).

Steigt die Stromstärke über ein gewisses Mass, so wird der innerhalb der Röhre m befindliche Eisenkern k von der Stromspule s nach oben gezogen, wobei die Nase x gegen den Vorsprung der Sperrklinke i stösst und letztere ausser Eingriff bringt. Dadurch wird die Röhre m frei und der Träger t kann der Kraft der Feder folgen, welche ihn nach oben schnellt. Bei der

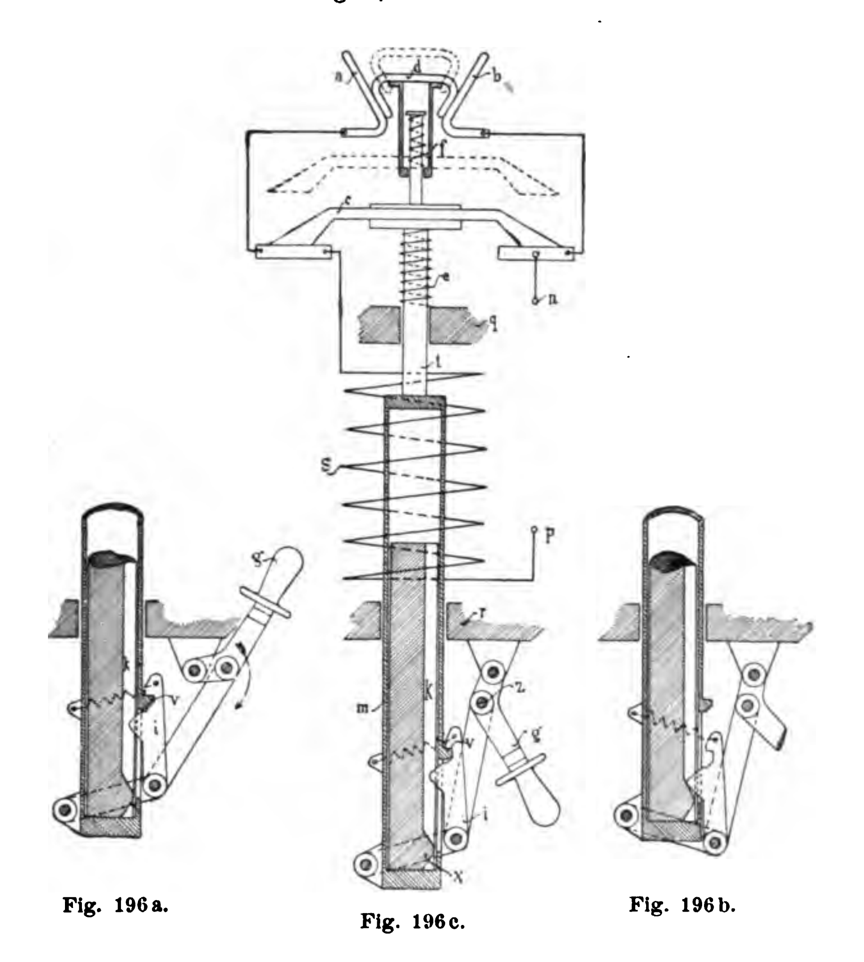


Fig. 196 a. Fig. 196 c. Fig. 196 b.

Aufwärtsbewegung kommt zunächst der Hauptkontakt c ausser Verbindung, worauf erst die Ausschaltung vermittels des Nebenkontaktes d eintritt.

Die Bedeutung dieses Kontaktes liegt zunächst darin, dass die Entstehung eines Lichtbogens nur an diesem leicht auswechselbaren Teile erfolgen kann. Ein sich bildender Lichtbogen wird jedoch alsbald ausgelöscht durch die blasende Wirkung des magnetischen Feldes, welches zwischen den beiden in Fig. 196 sichtbaren Eisenplatten erzeugt wird, die vor und hinter den Stücken a, b und d angeordnet sind und die Pole eines von der Spule s erregten Elektromagneten darstellen.

Die Polplatten dienen zugleich als Träger eines aus feuerfestem Isoliermaterial gebildeten Kastens, welcher nach den Seiten und unten die Teile a,

b und *d* schornsteinartig umschliesst. In Fig. 196 b ist der untere Teil des Apparates in der Stellung dargestellt, welche er nach dem automatischen Ausschalten einnimmt. Um den Apparat wieder einzuschalten, wird der Hebel *g* wieder in die in Fig. 196 a gezeichnete Stellung gebracht, worauf die Sperrklinke wieder zum Eingriff kommt und das Einschalten in der vorher beschriebenen Weise erfolgt. Dauert die Ursache der zu hohen Stromstärke beim Wiedereinschalten noch fort, so schnellt der Eisenkern unter der erhöhten Wirkung der Spule wieder empor, löst die Sperrklinke aus und der beschriebene Ausschaltvorgang wiederholt sich, während der Handhebel *g* in der Einschaltestellung verbleibt.

Durch die in Fig. 196 am unteren Ende sichtbare Schraube kann die Ruhelage des Eisenkernes *k* verändert und so der Apparat für verschiedene Stromstärken eingestellt werden.

325. Maximalautomaten der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft.

Die Union-Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin baut selbstthätige Maximalausschalter für alle Spannungen bis zu 650 Volt. Dieselben lassen sich für jede beliebige Ausschaltstromstärke adjustieren, sobald dieselbe nicht unter der zulässig niedrigsten Stromstärke liegt und dieselbe die maximale Dauerbelastung um nicht mehr als 50 % übersteigt. Diese Grenzen sind am Apparat auf einem Schild angegeben, und zwar für die minimale Stromstärke, bei welcher der Apparat noch imstande ist, den Stromkreis selbstthätig zu unterbrechen, sowie für die maximale Dauerbelastung.

Durch eine elektromagnetische Ausblasevorrichtung wird die während des Ausschaltens auftretende Funkenbildung unschädlich gemacht. Diese Ausschalter sind mit Signalvorrichtungen versehen.

Fig. 197 stellt die Kontaktvorrichtung der akustischen Signalgebung dar. Sobald der Apparat ausschaltet, wird der Handgriff *x* durch den herabsinkenden Kontaktbügel in die punktiert gezeichnete Lage gebracht und so der Signalstromkreis über eine Batterie und Glocke geschlossen.

Die optische Signalvorrichtung ist in Fig. 198 dargestellt; die Wirkungsweise derselben ist folgende: An dem Polschuh *A* ist ein rotes Merkmal *B* angebracht, welches durch eine schwarze Tafel *C* verdeckt wird. Schaltet nun der Automat aus, so sinkt mit dem Kontaktbügel auch die schwarze Tafel und das rote Merkmal wird sichtbar.

Die Union-Elektrizitäts-Gesellschaft fabriziert zwei Arten von Maximalausschaltern, und zwar für Stromstärken von 150 bis 8000 Amp. (Fig. 199) und für Stromstärken von 50 bis 250 Amp. (Fig. 200). Durch den Metallbügel *b* zwischen den Kontakten *a* und a_1 wird der Hauptstromkreis geschlossen (siehe Fig. 199 u. 201); hierzu

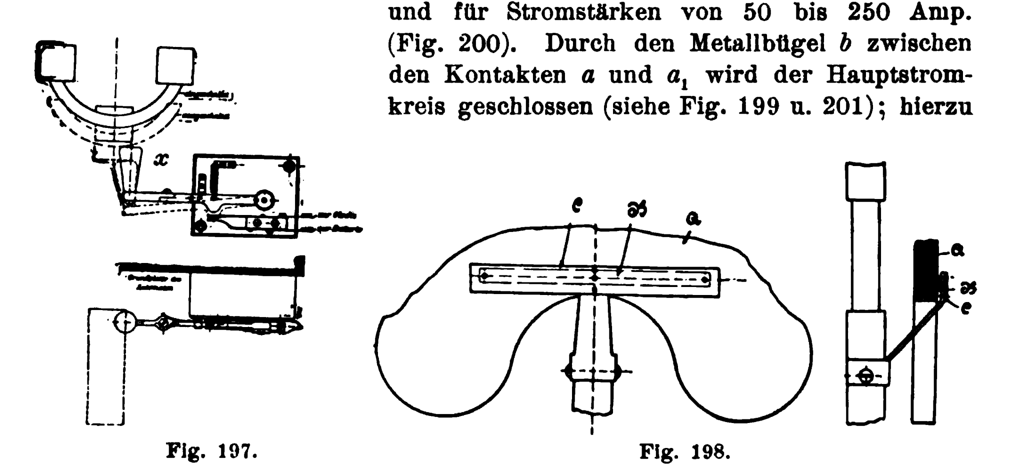


Fig. 197. Fig. 198.

parallel liegt ein zweiter Stromkreis, bestehend aus den beiden Spulen der magnetischen Funkenlöschung m, m_1 und den Nebenkontakten c, d und d_1. Sobald durch das Solenoid s die Ausschaltstromstärke, für welche der Apparat eingestellt ist, fliesst, wird der Anker angezogen und die Nase des Kniehebels k freigegeben. Darauf tritt die Feder f in Thätigkeit und entfernt zunächst den Bügel b und einen Moment später c von den entsprechenden Nebenkontakten a, a_1 resp. d, d_1, wo der Unterbrechungsfunke dann durch die magnetische Funkenlöschvorrichtung in der wirksamsten Weise ausgeblasen wird.

Im Gegensatz zu dem vorstehend beschriebenen findet bei den Automaten für Stromstärken von 50 bis 250 Amp. (Fig. 200) die Ausschaltung nur an



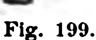


Fig. 199.



Fig. 200.

einem Hauptkontakt mit zwei Unterbrechungsstellen statt. Dabei liegen aber die Kontakte, an welchen der Hauptstrom unterbrochen wird, inmitten eines starken magnetischen Feldes.

326. Maximal-Kurzschliesser, System Thury.[1]

Bei der Kraftübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom nach dem THURYschen System ist an den hintereinander geschalteten Motoren ein automatischer Schalter angebracht mit dem Zweck, den Motor vor zu hoher Tourenzahl im Falle einer Spannungserhöhung an seinen Klemmen zu schützen. Der Ausschalter ist parallel zum Motor in die Leitung eingeschaltet. Auf der Welle ist ein Hebelarm angebracht, der durch die Zentrifugalkraft abgeschleudert, durch eine Feder aber in einer bestimmten Lage gehalten wird, solange die Tourenzahl normal bleibt. Wird sie aber zu hoch, so löst der Hebel den Automaten aus. In diesem

Fig. 201.

1) Vgl. auch ETZ 1902, Heft 48.

Falle wird jedoch der Stromkreis nicht unterbrochen, um den Betrieb der übrigen Teile der Anlage nicht zu stören, sondern der betreffende Motor wird kurzgeschlossen.

327. Automat von Hopkinson & Talbot. Nach dem D. R. P. No. 128 832 bauen HOPKINSON & TALBOT einen Maximalautomaten (Fig. 202), der die Leitung selbstthätig wieder schliesst, wenn der die Ursache für das Anwachsen der Stromstärke bildende Kurzschluss beseitigt ist. Als Triebwerk dient ein Elektromotor. Auf der Welle *G* ist eine elektromagnetische Kupplung angeordnet, deren festaufgekeilter Teil *K* bei unzulässig hoher Stromstärke durch die Bewegung des Schalthebels des Automaten vermittels des Armes *A* mitgenommen wird. Hierbei wird die in den Stromkreis eines Elektromotors *E* eingeschaltete Feder *D* auf die leitende

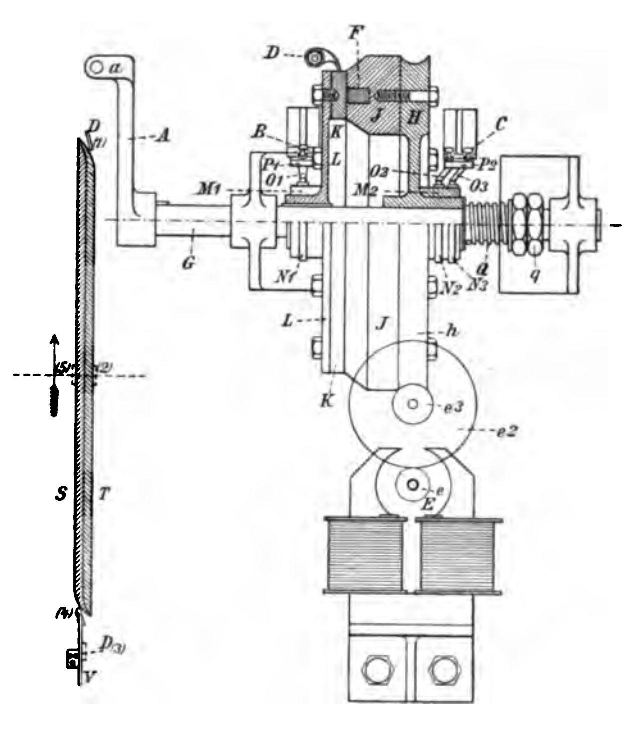


Fig. 202 a. Fig. 202.

Seite *S* (Fig. 202 a) der Rippe *S T* gestellt. Die andere lose Hälfte der Kupplung *J* wird nach Aufhebung des Kurzschlusses mit der festen Hälfte *K* elektromagnetisch gekuppelt, wonach der Elektromotor die Welle *G* in ihre Anfangsstellung zurückdreht, gleichzeitig den Schalthebel des Automaten in die Schliesslage führt und die Feder *D* auf die nichtleitende Seite *S* der Rippe *S T* stellt.

328. Automaten von Voigt & Haeffner. Die von VOIGT & HAEFFNER hergestellten automatischen Hochspannungshörnerausschalter werden aus einfachen Hörnerausschaltern dadurch hergestellt, dass an denselben automatische Auslösevorrichtungen angebracht werden, und zwar folgendermassen:

In die Hochspannungsleitung wird ein als Maximal- oder Minimalrelais ausgebildetes kleines Relais eingebaut, welches aus einem vom Hochspannungsstrom erregten kleinen Elektromagneten besteht. Die Auslösung wird in-

direkt durch Vermittlung von Gleichstrom durch die Bewegungen des Ankers des Magneten bewirkt. Diese Bewegungen veranlassen das Schliessen eines Gleichstromkontaktes; durch den hierdurch eingeleiteten Hilfsstrom wird an dem Hochspannungsschalter selbst die Auslösevorrichtung bethätigt.

Wenn es auch kompliziert erscheint, für die Auslösung erst Gleichstrom herzustellen, so erreicht man doch dadurch wesentlich praktische Vorteile. In erster Linie wird man von der Hochspannung unabhängig.

Zwar kann man auch Wechselstrom unter Verwendung von Stromwandlern für die Auslösung benutzen, doch würden die Auslöseapparate dadurch weniger sicher und ferner grösser und schwerfälliger werden. Ausserdem kann auf dieser beschriebenen Weise der Auslösung in einem Moment ein verhältnismässig starker Stromstoss für die Auslösung abgegeben werden, wodurch man wiederum den auslösenden Gleichstromelektromagneten verhältnismässig klein halten und trotzdem eine sehr sichere Auslösung bewirken kann.

In Drehstromanlagen ergiebt sich auch ein sehr grosser Vorzug in Bezug auf Anwendung von Gleichstrom zur Auslösung, denn es werden bei jenen die Hochspannungsrelais mit der Gleichstromkontaktvorrichtung in zwei Leitungen der drei Phasen eingebaut. Man kann dann eine sichere Auslösung erwarten, einerlei, ob die Auslösung in einer oder mehreren der drei Phasen verursacht wird.

Aus Fig. 203 ist das Schema für einen Hochspannungsschalter mit Maximalauslösung zu ersehen. Der Hochspannungsschalter ist mit *a* angedeutet; das Relais *r* liegt in der Hochspannungsleitung und bethätigt den Gleichstromkontakt *c*. Der Magnet *m* wird durch Gleichstrom erregt und ist an dem Gestänge des Hochspannungsschalters befestigt, wodurch der Klinkeneingriff *k* zur Auslösung gebracht wird. Hiernach wird der Hochspannungsschalter durch die Feder *f* in die Ausschaltelage zurückbewegt. Die Lage des vor der Schalttafel befindlichen Handgriffes bleibt bei automatischer Auslösung unverändert, so dass man den Griff in die untere punktiert angedeutete Lage zurückbewegen muss, um den Klinkeneingriff *k* wiederherzustellen und dadurch den Handgriff mit dem Schalter wieder zu verbinden. Die Feder *f* wird durch diese Zurückbewegung des Hebels wieder angespannt, so dass der Schalter nach vorherigem Klinkeneingriff für die weitere Auslösung bereit ist.

In Fig. 204 ist der mit automatischer Minimalauslösung versehene Hochspannungsausschalter dargestellt, wodurch jedoch die Einrichtung im grossen und ganzen dieselbe bleibt wie vorstehend beschrieben. Der Unterschied beruht nur darin, dass das Hochspannungsrelais als Minimalrelais eingerichtet wird, so dass der Anker in normalem Betriebe von dem kleinen Elektromagneten angezogen bleibt und erst durch Herabfallen des Ankers den Gleichstromkontakt schliesst. Eine besondere Anordnung bei der Minimalauslösung ist nur die Anordnung eines kleinen Hilfsmagneten *h* für Gleichstrom, wodurch der Anker des Relais angehoben erhalten wird, solange der Schalter *a* sich nicht in der Einschaltestellung befindet. Wenn jedoch die Einschaltung erfolgt ist, wird in demselben Moment durch eine kleine Unterbrechungsvorrichtung *u*, welche am Hochspannungsschalter befestigt ist, die Spule des Hilfsmagneten *h* ausgeschaltet und der Anker wird nunmehr durch die Spule *r* festgehalten. Es hat sich diese Anordnung als notwendig herausgestellt, weil sonst im ausgeschalteten Zustande, also bei stromloser Leitung,

der Gleichstromkontakt an dem Relais stets geschlossen und die Klinkenvorrichtung *k* nicht immer eingreifen würde.

Die Konstruktion der Hochspannungsrelais ist so ausgeführt, dass der kleine Elektromagnet auf einem Porzellanisolator montiert ist, unter welchem sich die Gleichstromkontaktvorrichtung befindet. Die Bewegung wird von dem Hochspannungsmagneten auf die Gleichstromkontaktvorrichtung durch einen kleinen Hartgummistab übertragen. Durch überfallende Blechkappen

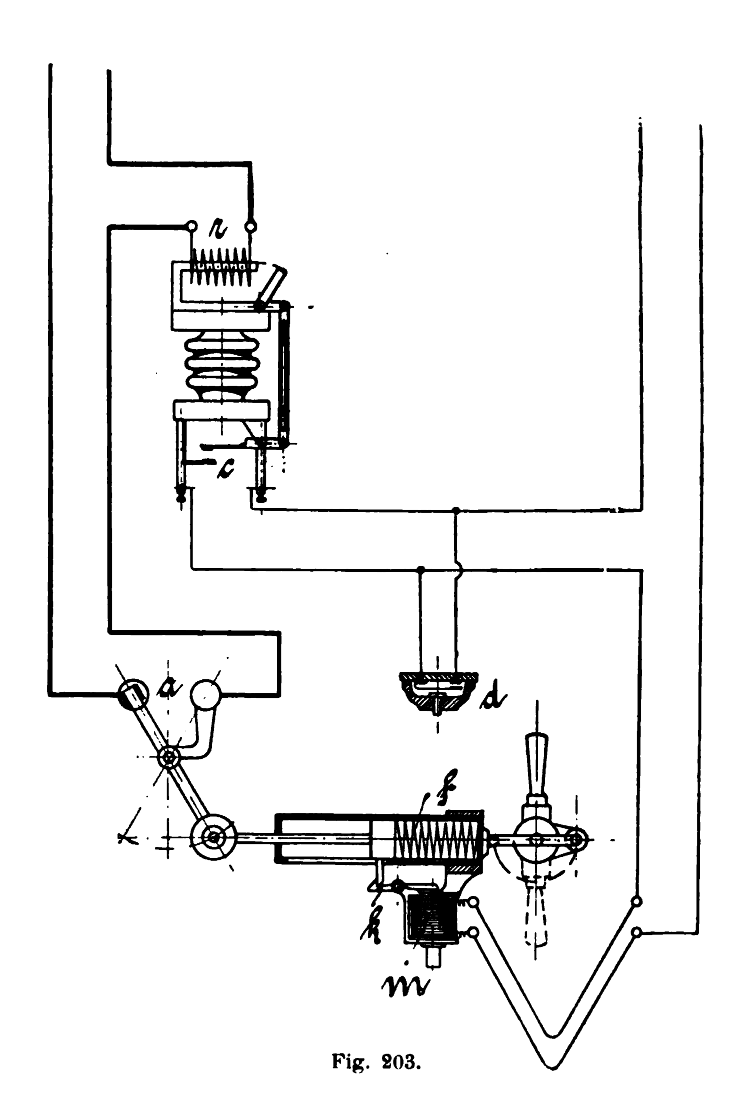


Fig. 203.

ist der Apparat von oben und unten vor äusseren Einflüssen geschützt, auch ist derselbe sehr einfach konstruiert, so dass derselbe im Betriebe gut verwendbar ist.

Die Konstruktion der Auslöseapparate ist in Fig. 203 u. 204 genügend ersichtlich; dieselben können in jede Art Stangenantrieb eingebaut werden, doch wird man möglichst auf horizontale oder vertikale Anordnung Rücksicht nehmen müssen.

Ferner ist es wichtig, dass schon im Einschaltemoment die Auslösung stattfinden kann; selbst unter bestehendem Kurzschluss wird sofortige Selbstauslösung bei Wiedereinschaltung bewirkt.

Hervorzuheben ist auch, dass der die Auslösung bewirkende Gleichstrommagnet *m* sich den Bewegungen des Gestänges anpassen muss, indem die Stromzuführung zu diesem Auslösungsmagneten durch ein kurzes, biegsames Seil geschieht. Dies soll jedoch nicht etwa zu Bedenken Anlass geben, denn

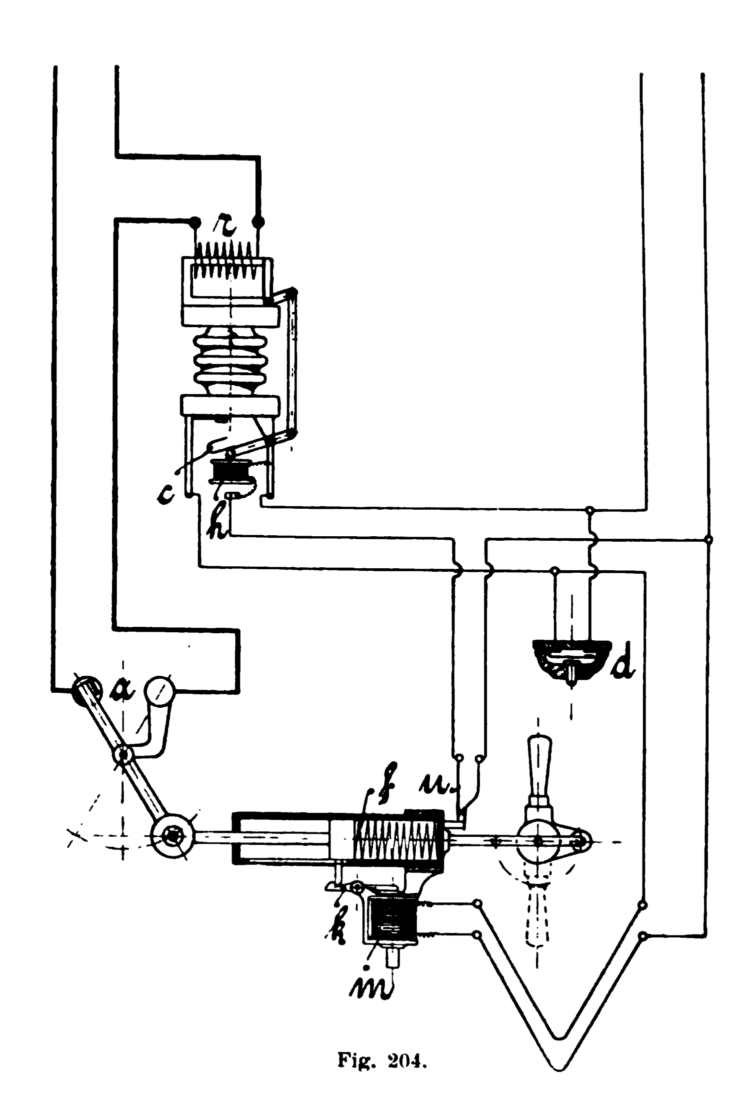


Fig. 204.

die Bewegungen des Gestänges sind nur sehr klein und werden sogar noch durch den oben beschriebenen Hebelantrieb abgefangen, so dass sie sich sanft vollziehen.

Der Auslösemechanismus kann von einer beliebigen Stelle aus durch Druckknopfauslösung oder irgend einen anderen Kontaktapparat, wie Kontaktvoltmeter, Kontaktampere- oder Manometer u. s. w. in Funktion gesetzt werden. Ebenso kann eine Alarmvorrichtung, welche nach automatischer

Auslösung des Apparates in Thätigkeit tritt, in einfachster Weise mit der Auslösung verbunden werden. Die Abstellung dieser Alarmvorrichtung geschieht dann am zweckmässigsten durch die Ausschaltung des Handhebels.

Es wird nun häufig der Fall eintreten, dass der Kurzschluss, welcher das Auslösen des Automaten verursacht hatte, noch nicht beseitigt ist, wenn der Automat wieder eingelegt wird. Infolgedessen kann bei dem Versuch, den Stromschluss wieder herzustellen, erneut Kurzschluss eintreten. Um dies zu vermeiden, ist das Bestreben des Konstrukteurs dahin gerichtet, diese

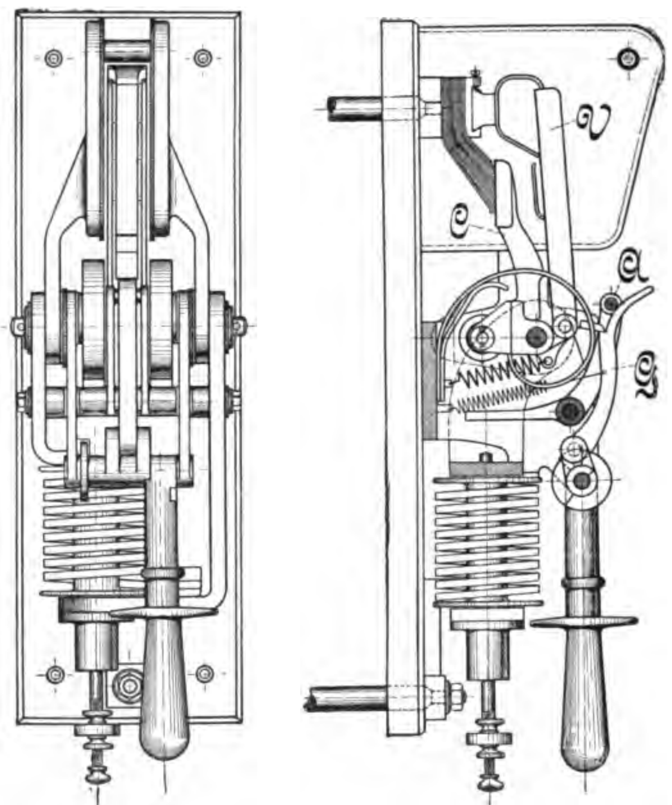


Fig. 205.

Schalter so zu konstruieren, dass ein Wiedereinschalten nicht erfolgen kann, solange der Kurzschluss besteht. An anderer Stelle[1]) dieses Bandes wird eine von STOBRAVA angegebene Einrichtung gekennzeichnet, welche das Fortbestehen des Kurzschlusses signalisiert. Hier ist das Ziel weiter gesteckt, es soll überhaupt nicht möglich sein, den Schalter in diesem Falle zu schliessen, die Auslösung muss also so beschaffen sein, dass sie auch noch während der Schaltbewegung erfolgen kann.

VOIGT & HAEFFNER haben einen derartigen Automaten konstruiert, dessen Vorder- und Seitenansichten in Fig. 205 wiedergegeben sind und den VOGELSANG wie folgt beschreibt: Die Bewegung des Kontaktstückes *C* wird durch einen Greifer *G* vermittelt, welcher durch den Auslösemechanismus *A* zurück-

1) Hdb. VI, 2.

geschlagen wird, worauf die Auslösung erfolgt. Der Greifer ist nach oben hornartig verlängert und die konstruktive Anordnung so getroffen, dass sich seine Lage während der Schaltbewegung dem Auslösehebel *A* gegenüber nur wenig verändert. Hierdurch wird eben bewirkt, dass die Auslösung auch während der Schaltbewegung stattfinden kann. Ein weiterer Vorteil der Konstruktion ist die Anordnung sowohl des Vorkontaktes *A* als auch des Hauptkontaktes *C* innerhalb des magnetischen Blasfeldes, denn bei sehr starken Kurzschlüssen kommt es vor, dass trotz des Vorkontaktes an den Hauptkontakten Feuer entsteht.

330. Einstellung der Maximalautomaten auf eine bestimmte Zeit.

Durch das prompte Ansprechen der Automaten wird der Technik aber nicht immer vollkommen gedient; sowohl der Automat wie auch die Sicherung sprechen sofort auf jede Überlastung an, die durch die Eigenartigkeit verschiedener Betriebe bedingt, häufig auftritt, aber, wie bereits gesagt, nur Sekunden dauert. Eine derart kurze Zeit dauernde Überlastung ist aber nicht ausreichend, Schaden in dem betreffenden Stromkreis herbeizuführen, so dass dem praktischen Bedürfnis in vielen Spezialfällen vollständig genügt wird, wenn Sicherungen und Automaten so gebaut werden, dass sie imstande sind, kurze Überlastungen aufzunehmen, und erst dann in Wirksamkeit treten, wenn der erhöhte Stromaufwand längere Zeit das normale Mass überschritten hat. Die sogenannten trägen Sicherungen, welche die doppelte Stromstärke 2 bis 5 Minuten ertragen, dienen solchen Zwecken. Bei Automaten findet eine Einstellung auf Zeit statt. Auch für Hochspannungsanlagen, in welche Hörnerblitzableiter eingeschaltet sind, wäre ein sofortiges Funktionieren der Automaten oder Sicherungen nicht erwünscht, da hierdurch die Löschwirkung der Schutzvorrichtung beeinträchtigt würde und daher eine Zeiteinstellung am Platze.

Die Thätigkeit der auf Zeit eingestellten Automaten sei an einem von Herzog und Feldmann aufgestellten Beispiel erläutert. In einem weitverzweigten Fernleitungsnetz entsteht aus irgend einem Grunde Kurzschluss zwischen zwei Leitungen. Wenn derselbe intensiv genug ist, so werden nunmehr alle in der betreffenden Strecke eingeschalteten Sicherungen durchschmelzen bezw. die Automaten sich auslösen. Dies bedingt, dass selbst bei einer geringen örtlichen Störung, z. B. Zusammenschlagen der blanken Leitungen, sofort die ganze Strecke bis zur Zentrale in Mitleidenschaft gezogen wird. Werden dagegen Apparate in die Strecke eingeschaltet, welche erst ausschalten, wenn die anormal hohe Stromstärke einige Zeit wirksam war, so kann die Einrichtung derart getroffen werden, dass der am weitesten von der Zentrale entfernte nach einer geringeren Zeit wie die der Zentrale näher montierten Automaten ausschaltet. In erster Linie wird nun der am weitesten vorgeschobene Automat in Thätigkeit treten und der nächste erst dann auslösen, wenn nach dem Abschalten des letzten Streckenabschnittes der Kurzschluss noch nicht abgeschaltet wurde.

Auf diese Art können Stromerhöhungen und ihre Folgen auf die Strecke, in welcher sie entstanden, beschränkt werden.

Hewlett [1]) erreicht den beabsichtigten Zweck durch eine in Verbindung mit einem Maximalautomaten stehende Vorrichtung, welche den Apparat während der nur kurze Zeit dauernden Überlastung, wie sie beim Einschalten von Motoren u. s. w. eintritt, unempfindlicher macht, so dass er erst in Thätig-

1) U. S. P. 696969.

keit tritt, wenn die Überlastung längere Zeit dauert.[1]) Der mit dem Schalter in Verbindung stehende Mechanismus übt während des Einschaltens auf die Einstellfeder einen Einfluss derart aus, dass ihr Zug vergrössert und hierdurch dem Bestreben des Elektromagneten, den Anker abzureissen, entgegengearbeitet wird. Nach erfolgtem Anlassen hört dieser Einfluss auf und der Schalter unterbricht bei dem, sagen wir, normalen Maximalstrom.

Bei einem Hitzdrahtausschalter U. S. P. 701 396 wird die Ausschaltung eingeleitet, wenn durch die Überlastung ein Draht eine gewisse Temperatur überschreitet. Die Ausschaltung vermittels einer durch die Stromwärme geschmolzenen Masse beschreibt U. S. P. 697 219.

Andere Schalter bauen die General Electric-Co. und die Westinghouse-Co.,[2]) deren Auslösungsmechanismus einem Elektrizitätszähler gleicht. Im Felde permanenter Magnete ist eine Kupferscheibe angeordnet, welche das Bestreben hat, sich unter der Wirkung mehrphasiger, den Strömen in den Leitungen proportionaler Ströme langsam zu drehen, wird daran aber durch einen mit dem Ausschaltehebel verbundenen Anschlag mechanisch gehindert. Im Falle der Überlastung dreht sich die Scheibe ein wenig, löst ein Relais aus und giebt erst dann, nachdem dieses einige Zeit gewirkt hat, die Scheibe und hierdurch den Anschlag frei. Durch Einstellung der permanenten Magnete lässt sich die Wirkung verzögern oder beschleunigen.

Eine andere Anordnung, die schematisch in Fig. 206 dargestellt ist, wird von der Union, Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, ausgeführt und von A. Gerhardt wie folgt beschrieben:

Im Sekundärkreis eines Stromtransformators ist neben dem Auslösungsmagnet ein zweiter Magnet eingeschaltet, der die Aufgabe hat, bei einer gegebenen Stromstärke ein Antriebswerk zur Auslösung zu bringen und gleichzeitig eine in den Stromkreis eingeschaltete Kontaktfeder gegen eine durch den Antrieb in Bewegung gebrachte Kontaktscheibe zu drücken. Der Stromlauf ist folgender: Von der Sekundärwicklung des Stromtransformators nimmt der Strom seinen Weg durch die Wicklung des Hilfsmagneten *b* zurück nach dem Stromtransformator. Gleichzeitig zweigt bei *d* eine Leitung zu der Kontaktfeder *e* ab. Auf dem Umfang der nichtleitenden Scheibe *f*, die von dem Triebwerk *g* in Umdrehung versetzt wird, ist ein Kontakt *h* eingelassen, welcher über die Spule des Auslösungsmagneten *l* mit dem anderen Ende der Wicklung des Transformators resp. des Hilfsmagneten *b* verbunden ist. Hilfsmagnet und Auslösungsmagnet sprechen auf die gleiche Stromstärke an, Nimmt der Strom in der Hauptleitung einen höheren Betrag als den normalen an, so zieht zunächst der Hilfsmagnet seinen Anker an. Hierdurch wird das Gestänge *i* und die Sperrklinke *k* gehoben, das Triebwerk *g* wird freigegeben und die Scheibe *f* beginnt ihre Drehung. Zugleich hat das Gestänge an Feder *e* gegen den Umfang der Scheibe gedrückt. Kommt der Kontakt *h* bei der Drehung mit *e* in Berührung, so wird der Auslösungsmagnet *l* erregt und der automatische Schalter, in diesem Fall ein Ölschalter, unterbricht den Hauptstromkreis. Die Kontaktscheibe läuft nun noch weiter, bis der Kontakt seine Anfangsstellung wieder eingenommen hat und Sperrung durch die Klinke *k* eintritt. Die verschiedene Zeiteinstellung für die Auslösung wird

1) Rucker beschreibt ebenfalls einen Automaten, der ausschaltet, wenn Überlastung von bestimmter Zeitdauer überschritten wird. El. World, Bd. 39, S. 1108.

2) Herzog & Feldmann, Elektrische Beleuchtung. 1901, S. 401.

durch die Veränderung der Anfangsstellung des Kontaktes *h* vorgenommen. War die Ursache für das Funktionieren des Automaten aufgehoben, bevor der Kontakt *h* bei der Feder *e* anlangte, so hatte der Hilfsmagnet seinen Anker wieder losgelassen und das Gestänge hatte die Feder vom Umfang der rotierenden Scheibe abgehoben. Letztere konnte nun, ohne den Stromkreis des Auslösemagneten zu schliessen, ihren Weg bis zur Sperrung vollenden.

Die Siemens-Schuckert-Werke bauen ein Hochspannungsmaximalrelais mit Zeiteinstellung, welches einen Anker anzieht, wenn der Strom das

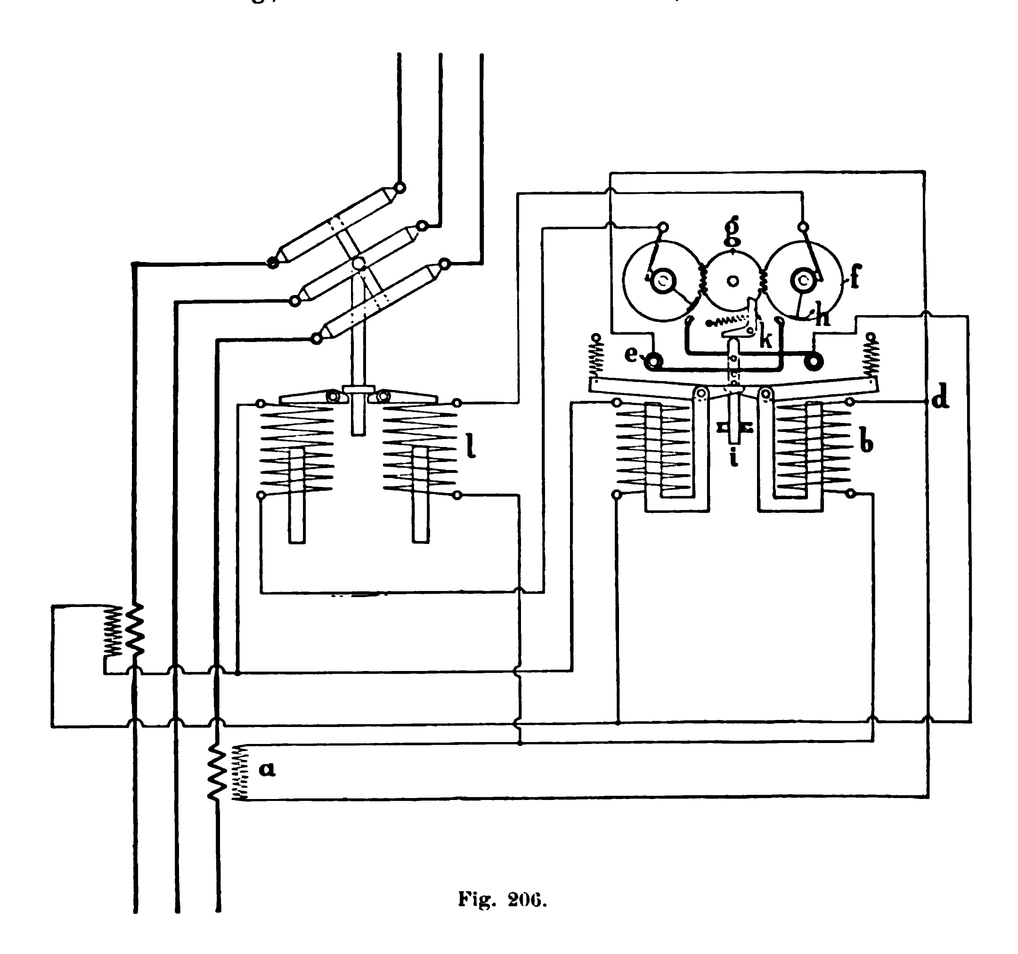


Fig. 206.

normale Mass überschreitet. Hierdurch wird eine isolierte Auslösestange nach unten gestossen, ihre Bewegung aber durch ein Laufwerk verlangsamt. Diese Stange bethätigt eine Kontaktscheibe, die nach Ablauf einer bestimmten einstellbaren Zeit den Stromkreis für die Auslösevorrichtung des Schalters schliesst.

Für Wechselstrom verwenden Brown, Boveri & Co. einen selbstthätigen Ausschalter mit Zeiteinstellung, welcher sowohl bei zu hohem als auch bei Rückstrom in Thätigkeit tritt.

Der Apparat ist folgendermassen angeordnet:

Ein auf dem Prinzip der Schirmwirkung beruhender Wechselstrommotor, z. B. in der bekannten Anordnung einer leitenden, aber nicht magnetischen

Scheibe, welche so gelagert ist, dass sie sich in einem Magnetfelde drehen kann, trägt auf der Achse eine kleine Trommel, auf welcher sich bei Umdrehung der Scheibe eine Schnur aufwickeln kann, die an ihrem anderen Ende ein Gewicht trägt. Ist das Gewicht in eine bestimmte Höhe gehoben, so schliesst es einen Kontakt, wodurch dann die Auslösung eines Ausschalters bewirkt wird. Je nach Grösse des Gewichtes muss die Stromstärke mehr oder weniger gross sein, um das Gewicht zum Aufwinden zu bringen. Danach kann also mit Änderung des Gewichtes auch die Stromstärke, bei welcher das Ausschalten erfolgt, beliebig geändert werden. Andererseits hat man durch Verlängerung oder Verkürzung der Schnur es in der Hand, die Zeit, welche vom Anheben bis zum Eintritt des Kontaktes an verfliesst, beliebig zu verändern.

Man kann also durch diese Anordnung die Stromstärke, bei welcher der Kontakt eintreten soll, sowie auch die Zeit, innerhalb welcher derselbe eintritt, beliebig ändern.

Soll nun die beschriebene Vorrichtung für Rückstrom[1]) dienen, so sind statt eines einzigen Magneten mit Schirmpol deren zwei, jedoch ohne Schirmpol, notwendig, von welchen der eine im Nebenschluss, der andere aber vom Hauptstrom, oder durch Zwischenschaltung eines Stromwandlers, vermittels eines Stromes erregt wird, welcher vom Hauptstrom abhängig ist. Man hat aber hierbei darauf zu achten, dass ein Drehmoment entsteht, indem die beiden Magnete in ungleiche Stromphasen gelegt werden. Natürlich wechselt nun die Richtung des in der Scheibe erzeugten Drehmomentes, sobald der Strom in der Hauptstromspule umgekehrt wird.

Die Anordnung wird dann so getroffen, dass die Scheibe durch eine entsprechende Sperrung verhindert ist, sich in dem der normalen Stromrichtung entsprechenden Sinne zu drehen, während sie sich bei auftretendem Rückstrom in der entgegengesetzten Richtung frei bewegen kann. Dadurch wird dann das Gewicht gehoben und das Auslösen des Ausschalters bewirkt.

Bei hoher Spannung wird die Nebenschlussspule an einen Spannungstransformator und die Hauptstromspule an einen Stromwandler angeschlossen. Die Schaltung erfolgt dann in der Weise, dass das Gewicht gehoben wird, wenn im Netze Rückstrom eintritt, während bei normalem Arbeitsstrom das Gewicht durch eine entsprechende Vorrichtung gesperrt wird.

330. Konstruktion und Masse einiger Minimalautomaten.

Die Konstruktion der Minimalautomaten unterscheidet sich von den Maximalautomaten in der Hauptsache dadurch, dass, während der Betriebsstrom eine Spule durchfliesst, deren Kern einen Anker angezogen hält, wodurch der Schalter verriegelt bleibt. Sinkt der Strom unter eine gewisse Grenze, so wird der Anker freigegeben und durch die Wirkung von Federn oder Gewichten der Schalthebel ausgelöst.

Fig. 207 zeigt einen Minimalautomaten von Helios, Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, und Fig. 208 einen solchen von Siemens & Halske.

Die Selbstausschalter von Dr. Paul Meyer, Aktiengesellschaft, erhalten teils Quecksilberkontakte (Fig. 209), teils Federkontakte (Fig. 210).

Minimalautomaten werden in der Regel so eingestellt, dass sie ausschalten, wenn der Strom auf 5 bis 10% des normalen Stromes gesunken ist.

---

1) Vgl. ETZ 1902 S. 847 und Hdb.VI, 1 S. 283.

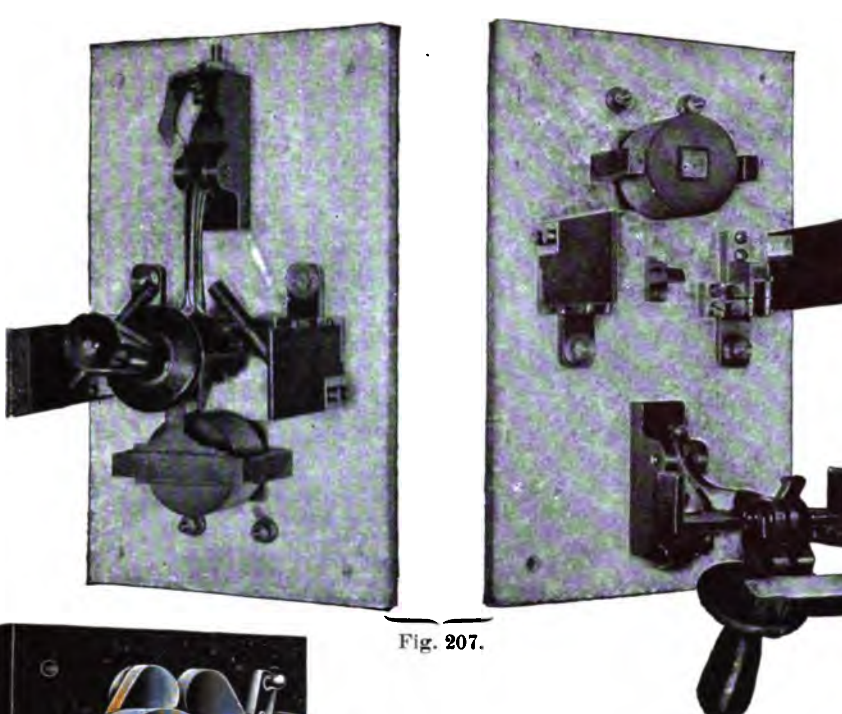
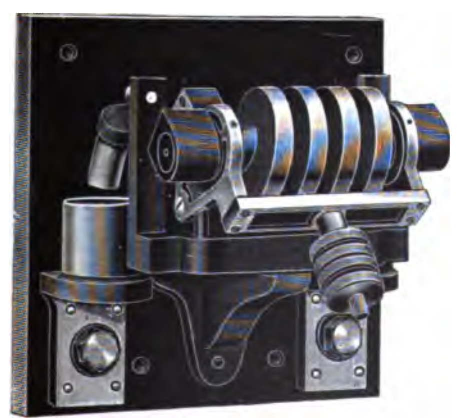


Fig. 207.



Fig. 208.



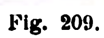


Fig. 209.

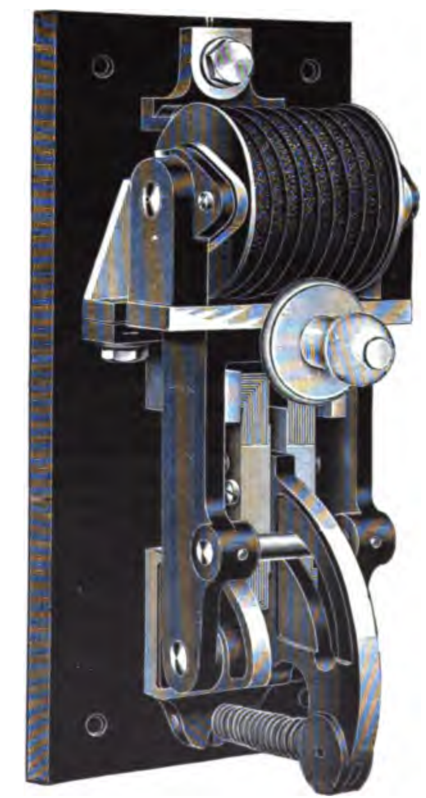
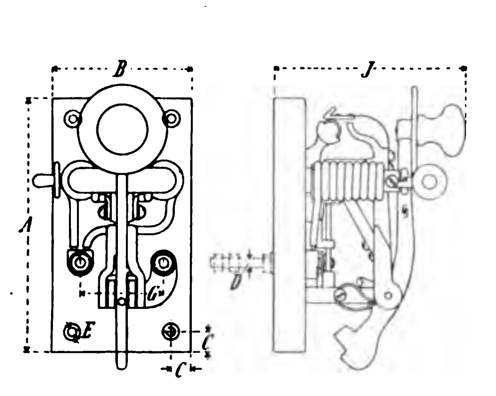


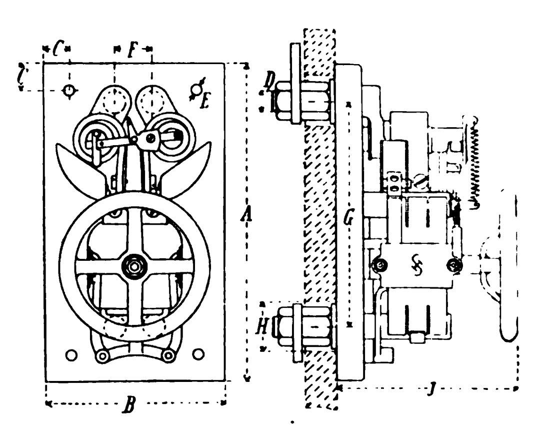
Fig. 210.

Tabelle No. 81.

Masse der Minimalausschalter N.1002 der Siemens & Halske-A.-G.



Minimalausschalter N.1002 z—c.
Fig. 211.



Minimalausschalter N.1002 d—f.
Fig. 212.

Type	Ampere	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Gewicht kg
N.1002 z	50	200	110	16	8	6	—	66	—	150	4
N.1002 a	100	200	110	16	8	6	—	66	—	150	4
N.1002 b	200	250	150	25	10	9	—	90	—	165	6
N.1002 c	400	300	180	30	13	9	—	120	—	200	12
N.1002 d	700	390	210	35	26	11	—	265	55	225	22
N.1002 e	1500	420	250	35	26	11	50	300	55	245	36
N.1002 f	3000	500	250	35	26	11	50	—	—	280	57

Tabelle No. 82.

Masse der selbstthätigen Schwachstrom-Ausschalter für 600 Volt der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co. (Fig. 213).

Ampere	Bestell-No.	a	b	c	d	e	f	g
30	5201	—	—	—	—	—	—	—
60 100	5203 5205	224·5	183	37	186	15	4	10
200	5208	282	206	45	230	13	13	13
400	5212	336·5	256	65	282	8·5	14	17
700	5215	413·5	293	65	335	18	18	16
1000	5217	484	336	75	371	17	32	18
1500	5219	541	400	90	437	20	28	18

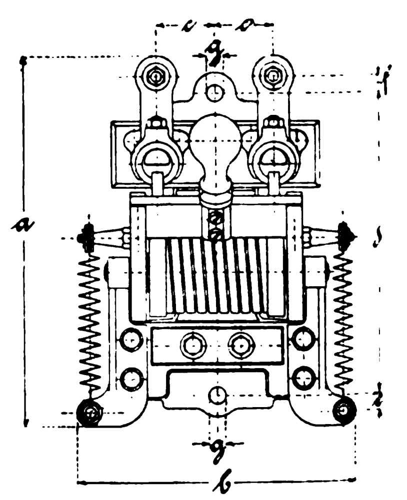


Fig. 213.

Rückstromausschalter.

331. Zweck der Rückstromausschalter.

Durch die immer grösser werdende Ausdehnung mancher elektrischer Anlagen, die die Anordnung von Unterstationen bedingen, sind Ausschalter erforderlich geworden, welche es vermeiden sollen, dass von einer Unterstation oder irgend einem anderen Punkt des Netzes Strom nach der Zentrale zurückfliesst. Es ist das insbesondere dann erforderlich,[1]) wenn von einer Zentrale aus der Sicherheit wegen doppelte untereinander verbundene Leitungsstränge zu grossen Unterstationen führen. Tritt in einem dieser Stränge ein Kurzschluss ein, so würden die in diesen eingeschalteten Automaten zunächst in Thätigkeit treten, durch die Verbindungsleitungen aber auch derjenige des zweiten Stranges ausgelöst werden, so dass der Zweck der doppelten Linienführung illusorisch würde. Man schaltet daher in die derartige Leitungen verbindenden Stränge Rückstromausschalter.

Dieselben kommen aber auch in einem anderen Falle zur Geltung. Wird ein Maximalautomat ausgelöst, welcher nahe der Zentrale angebracht ist, so wird eine mit Akkumulatoren ausgerüstete Unterstation nicht nur in ihre eigenen Umformer, sondern auch in die damit verbundenen Unterstationen Strom schicken. Es müsste also ein Apparat vorgesehen werden, der auf die Umkehrung der Stromrichtung anspricht und hierdurch den automatischen Schalter zur Auslösung bringt.

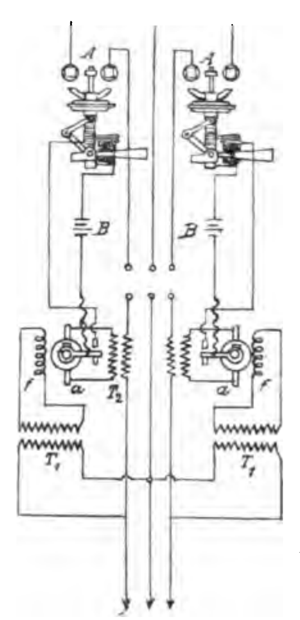


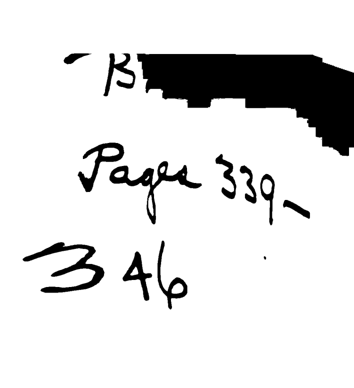
Fig. 214.

332. Konstruktion der Rückstromausschalter.[2])

Die Union Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, verbindet ihre Ausschalter mit einer Hilfsvorrichtung, um beim Auftreten von Rückstrom auszuschalten. GERHARDT[3]) beschreibt diese Einrichtung, die durch das Schema (Fig. 215) erläutert wird, wie folgt:

In den Relaiskreis des Maximalautomaten wird ein kleiner Gleichstrommotor eingeschaltet, durch dessen — auf einen gewissen Ausschlagwinkel begrenzte — Drehung der Relaiskreis mittels eines bewegten Kontaktes geschlossen wird. Der Anker dieses Motors wird durch die Sekundärwicklung eines Spannungstransformators gespeist, der zwischen zwei Leitungen des Drehstromspeisekabels angeschlossen ist, während die Magnete von einem Stromtransformator, der in eine dieser Leitungen geschaltet ist, erregt werden. Hierdurch erhält der Anker ein Drehmoment in einem bestimmten Sinne. Durch einen Anschlag wird die Drehung jedoch auf einen kleinen Winkel begrenzt. Kehrt sich die Stromrichtung in den Leitungen um, so erhält der Anker infolge der Phasenverschiebung zwischen Magnet und Ankerstrom ein Drehmoment im entgegengesetzten Sinne; mit

1) HERZOG & FELDMANN, Elektrische Beleuchtung 1901, S. 403.
2) Vgl. auch S. 280.
3) ETZ 1903, S. 277.



dem Anker nimmt der auf seiner Welle befestigte Kontakta
Drehung teil und es wird durch denselben der Relaiskreis
der Ölschalter zur Auslösung gebracht. Die Anordnung i
Automaten zeigt Fig. 214.

Die Wirkung der Minimalautomaten ist nicht immer sic
S. 262 dieses Bandes sahen, so dass an ihrer Stelle häufig F
Verwendung finden,[1]) bei denen dem Elektromagneten zwei
geben werden, und zwar eine Spannungs- und eine Strom

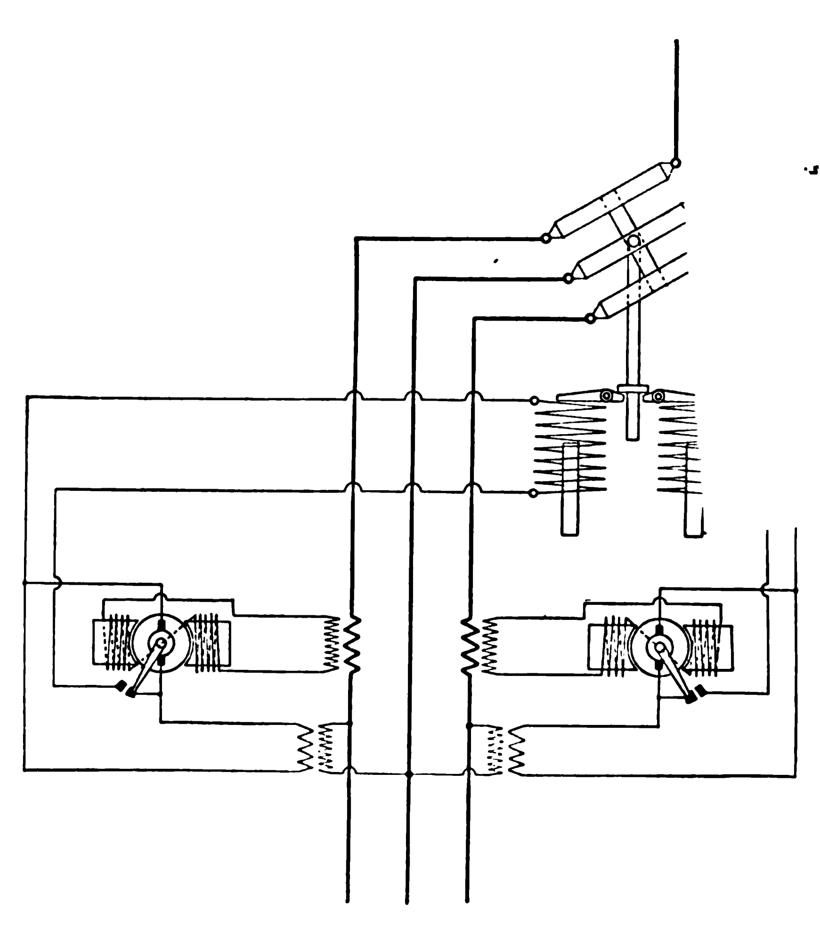


Fig. 215.



Fig. 216.

die Wirkung der Spannungsspule, auch bei einer Umkehrung des Betriebsstromes für den Apparat konstant ist, ist diejenige der Stromspule der ersteren entgegengesetzt, solange der Strom die normale Richtung hat. Die Wirkung beider addiert sich, sowie der Strom seine Richtung ändert. Sobald die kritische Zahl der Amperewindungen erreicht ist, wird die Auslösung des Automaten erfolgen.

1) VOGELSANG, Neue Selbstschalter von VOIGT & HAEFFNER, ETZ 1902, S. 817.

Diejenige Anzahl von Amperewindungen, bei denen der Schalter auslöst, tritt aber zweimal auf, da die Wirkung der Spannungsspule konstant und der Hauptstrom sowohl im positiven, wie auch im negativen Sinne anwachsen kann. Auch wenn die Stromrichtung normal ist, kann bei starkem Anwachsen des Stromes die Wirkung der Hauptstromspule die der Nebenschlussspule soviel überwiegen, dass eine Auslösung herbeigeführt wird. Diese selbstthätigen Schalter dienen also gleichzeitig zum Schutz gegen Rückstrom, unterbrechen aber auch bei hohem Anwachsen des Stromes, wenn er die normale Richtung hat, so dass sie auch als Maximalautomaten in Thätigkeit treten.

Apparat zum selbstthätigen Ausschalten bei Spannungsrückgang.

333. Zweck und Konstruktion.

Bei einer in einer Zentrale auftretenden Betriebsstörung muss ein an das Netz angeschlossener Motor, nach Beseitigung der Störung, von neuem durch den Anlasser in Betrieb gesetzt werden, nachdem vorher der Hebel des Anlassers aus der Betriebsstellung in die Ausschaltestellung gedreht wird.

Sobald die Stromunterbrechung nur kurze Zeit andauert, kann der Fall eintreten, dass der ausser Betrieb gebrachte Motor wieder mit der vollen Spannung belastet wird, bevor man Gelegenheit hatte, den Anlasshebel zurückzudrehen. Hierdurch kann ein Verbrennen des Ankers veranlasst werden. Aber auch durch Vergesslichkeit der Wärter kann der gleiche Fall eintreten. Um dies zu vermeiden und bei Stromunterbrechung Motoren vom Leitungsnetz selbstthätig abzuschalten, wird der in Fig. 216 dargestellte Apparat angewendet.

Derselbe besteht aus einem gewöhnlichen Hebelausschalter, welcher durch eine Feder in die Ausschaltestellung gezogen wird. Während des Betriebes wird der Hebel durch einen Magneten in eingeschalteter Stellung gehalten, welcher von einer im Nebenschluss zum Motor liegenden Spule erregt wird und dessen Anziehung die Kraft der Feder überwiegt, sobald ein Strom von hinreichender Stärke durch die Erregerspule fliesst, d. h. sobald dieselbe unter voller Betriebsspannung steht. Wird die Stromzuleitung unterbrochen, hört der Magnet sofort auf zu wirken und die Kraft der Feder schaltet den Hebel aus.



Fig. 217.

Beim Einschalten des Automaten ist stets darauf zu achten, dass sich der Anlasser in der Ausschaltestellung befindet. Der automatische Ausschalter ist dann solange in der eingeschalteten Stellung festzuhalten, bis der Hebel des Anlassers den ersten Kontakt erreicht hat, die Erregerspule des Magneten also unter voller

Spannung steht. Die Kontakte sind von Zeit zu Zeit zu reinigen und leicht einzufetten.

Siemens & Halske und Helios, Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, verbinden diesen Ausschalter direkt mit den Anlassern, wodurch eine noch wesentlich grössere Sicherheit erzielt wird, da gleichzeitig mit dem Vorgang des Ausschaltens der Widerstand des Anlassers vorgeschaltet wird. Fig. 217 zeigt einen derartigen Anlasser der letzteren Firma.

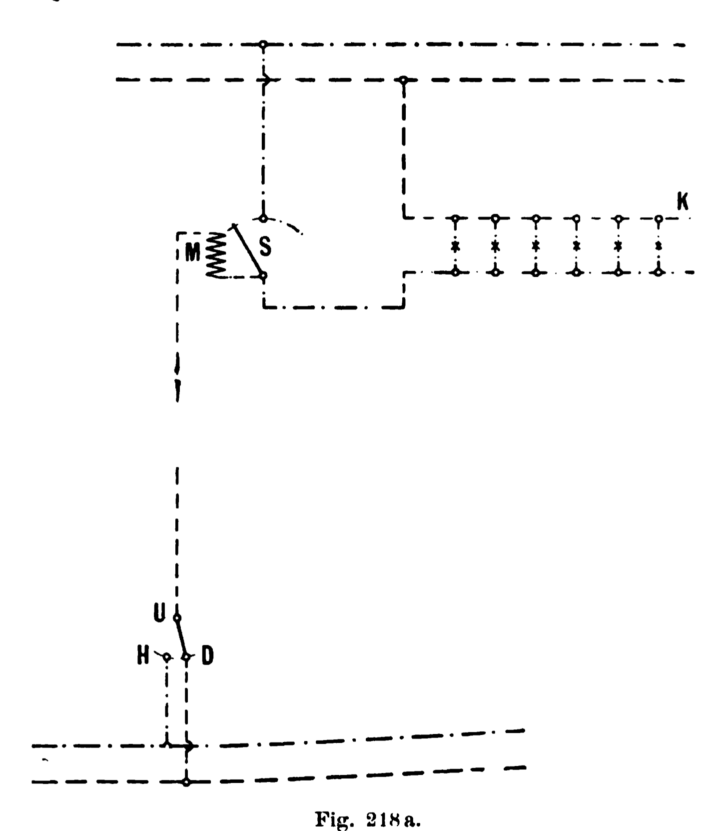


Fig. 218a.

Fernschalter.

334. Fernschalter für Strassenbeleuchtung.

Es ist bei elektrischen Anlagen fast immer erforderlich, bestimmte Gruppen von Lampen von einer entfernt liegenden Stelle, z. B. der Zentrale, ein- und ausschalten zu müssen, und zwar ist dies in erster Linie bei Strassenbeleuchtung erforderlich.[1])

Man wird auch häufig von der Einschaltestellung aus die betreffenden Lampen nicht sehen können und muss daher Vorkehrungen treffen, um an der Stromschlusstelle sicher erkennen zu können, ob der fernliegende Stromkreis ein- oder ausgeschaltet ist.

Im nachstehenden ist eine Anordnung beschrieben, welche diesen Bedürfnissen ohne Anwendung polarisierter Anker oder ähnlicher Elemente, sondern nur durch Verwendung einer einzigen dünnen Zuleitung entspricht.

1) Vgl. auch Hdb. VI, 1 S. 214 ff. — Dort werden auch einige Fernschalter beschrieben, die aber als Installationsschalter zu betrachten sind.

Das Schema (Fig. 218a) lässt die Wirkungsweise des Fernschalters deutlich erkennen. *K* bezeichnet den ein- oder auszuschaltenden Fernstromkreis, *S* den zum Einschalten des Stromkreises dienenden Hebel, welcher von dem Elektromagneten *M* beeinflusst wird. Das eine Ende der Magnetwicklung ist an den Fernstromkreis *S*, das andere unter Vermittlung der dünnen Fernleitung *F* an einen einfachen in der Zentrale angebrachten Umschalter *U* angeschlossen, dessen beide Kontakte mit *H* (hell) und *D* (dunkel) bezeichnet sind.

Soll *K* eingeschaltet werden, so wird der Umschaltehebel *U* auf *H* gestellt. Es fliesst dann ein Strom von der positiven Verteilungsschiene durch die Wicklung des Elektromagneten und die Lampen zum negativen Pol des Verteilungsnetzes, wodurch der Magnet *M* erregt wird und die Schliessung des Schalters *S* bewirkt. Sobald der Stromkreis *K* eingeschaltet ist, wird die Wicklung des Elektromagneten stromlos, weil jetzt beide Enden der Spule auf den gleichen Pol gebracht sind.


Fig. 218b.

Um den Stromkreis *K* auszuschalten, wird der Umschalter *U* auf *D* gestellt. Dadurch erhält die Magnetspule die volle Spannung des Verteilungsnetzes, der Magnet wird erregt und der Hebel des Schalters *S* in die Ausschaltestellung gezogen.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dass der Elektromagnet *M* nur kurz anhaltende Stromimpulse erhält und daher von einem wesentlichen Stromverbrauch des Apparates nicht die Rede sein kann.

Die konstruktive Ausführung des Schalters zeigt Fig. 218b, ebenso die Bethätigung des Schalthebels durch den Elektromagneten.

Der Apparat genügt für eine Stromstärke von 30 Amp. im Zwei- oder Dreileitersystem, entsprechend 60 bezw. 120 Glühlampen à 16 Normalkerzen. Dieselbe Schalterkonstruktion kommt für beide Systeme zur Anwendung.

Zum Schutze gegen Feuchtigkeit oder sonstige schädliche Einflüsse wird der Apparat in einen gusseisernen Kasten eingeschlossen.

Man muss möglichst dafür Sorge tragen, dass die Zahl der an einen Schalter angeschlossenen Lampen nicht weniger als zehn à 16 Normalkerzen beträgt; die Sicherheit in der Wirkung wird bei Verwendung einer geringeren Lampenzahl beeinträchtigt, weil, wie aus dem Schema ersichtlich ist, beim Einschalten der Lampenwiderstand im Stromkreis der Magnetwicklung liegt.

An die Fernleitung von 2—5 mm Kupferquerschnitt können bis 10 Apparate angeschlossen und von einem einzigen Umschalter aus in Thätigkeit gesetzt werden.

Die Fernausschalter von Siemens & Halske dienen dazu, Motoren, Lampen u. s. w. von verschiedenen beliebig entfernten Stellen aus abzuschalten. Es sind selbstthätige Ausschalter mit elektromagnetischer Auslösung, deren Elektromagnet in einem besonderen Stromkreis liegt.

Wird der Elektromagnet durch Gleichstrom erregt, so beträgt die Spannung an seinen Klemmen 30 Volt, wird er durch Wechselstrom erregt, so beträgt die Spannung an seinen Klemmen 110 bis 120 Volt; für höhere Spannungen sind Vorschaltwiderstände vorzuschalten. Der Strom für den Elektromagneten wird zweckmässig von den durch den Fernausschalter gehenden Hauptstrom abgezweigt, und zwar muss hierbei, von der Stromquelle aus gerechnet, die Abzweigstelle hinter dem Fernschalter liegen, damit beim Öffnen dieses Apparates der Stromkreis des Elektromagneten gleichzeitig mit unterbrochen wird. Diese Schaltung schützt die nur für vorübergehende Belastung berechneten Magnetwicklungen und Vorschaltwiderstände vor dem Verbrennen.

Zum Schliessen des Elektromagnet-Stromkreises werden Taster verwendet, die so eingerichtet sind, dass sie nach einem Druck auf den Kontaktknopf geschlossen bleiben und erst nach Entfernung der Schutzkappe wieder geöffnet werden können. Diese Anordnung lässt sofort erkennen, mit welchem Taster der Ausschalter in Thätigkeit gesetzt worden ist, und schützt

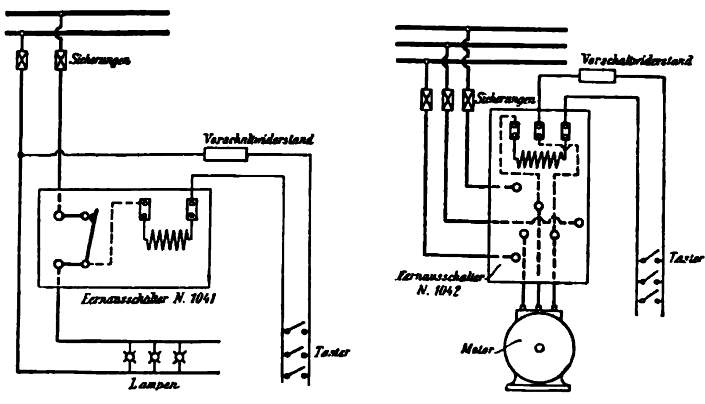


Fig. 219.

vor unbefugter Benutzung. Da bei dieser Schaltung der Elektromagnet-Stromkreis immer unterbrochen ist, sobald der Fernausschalter geöffnet ist, so kann man nach Entfernung der Schutzkappe den Taster öffnen, ohne dass ein Öffnungsfunke entstehen kann.

Im übrigen unterscheiden sich diese Schalter von den in Fig. 194 abgebildeten nur dadurch, dass statt einer dickdrähtigen Spule für den Elektromagneten eine dünndrähtige angebracht ist, deren Enden zu zwei Klemmen führen, die an den Hauptstromkreis angeschlossen werden.

Fig. 219 zeigt zwei Schaltungsanordnungen dieser Fernschalter, die dem Katalog von SIEMENS & HALSKE entnommen sind.

335. **Schaltapparat zur Vermeidung der Leerlaufarbeit in Transformatoren.**

Bei den meisten elektrischen Anlagen wird der Fall eintreten, dass der jährliche Gesamtnutzeffekt einer Transformatorenanlage, obwohl ein Transformator im allgemeinen einen hohen Wirkungsgrad besitzt, bedeutend ungünstiger ausfällt, wenn der Betrieb der an den Transformator angeschlossenen Verbrauchsapparate von Zeit zu Zeit durch längere Pausen unterbrochen ist.

Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass der primäre Stromkreis stets geschlossen bleibt und in demselben der zur Magnetisierung des Transformators erforderliche Strom fliesst. Es ist eine Arbeit erforderlich, welche für die beständige Ummagnetisierung des Eisens, ebenso wie im belasteten

Zustande, prozentual gerechnet, um so schwerer ins Gewicht fällt, je länger der Leerlauf des Transformators dauert.

Es sei angenommen, dass in einer Anlage nur ein Motor die einzige Belastung darstellt und bei 300 Arbeitstagen im Jahre täglich 10 Stunden belastet läuft; der Transformator soll 50 Kilowatt leisten. Es beträgt somit der für die Magnetisierung verlorengehende Effekt ca. $1^1/_2$ % = 750 Watt und daher in den Ruhepausen pro Jahr 300 × 14 × 750 × 65 × 24 × 750 = 4320 Kilowattstunden. Wenn nun die reinen Kosten für Heiz- und Schmiermaterial nur mit 8 Pfennig pro Kilowattstunde, ohne Berechnung irgend welcher Betriebskosten im Durchschnitt angenommen werden, so betragen die durch den Leerlauf entstandenen Mehrkosten jährlich 4320 × 0·08 = M. 345·60.



Fig. 220a.



Fig. 220b.

In den meisten Fällen wird in der Praxis die Leistung von 3000 Betriebsstunden noch weitaus nicht einmal erreicht sein und es ist daher von um so grösserem Wert, wenn die Leerlaufsarbeit eingeschränkt oder gar vermieden werden kann.

Es wird dies durch den nachstehend beschriebenen Apparat[1]) erreicht, indem bei Ausschaltung des sekundären Stromkreises ein im primären Kreise angebrachter Schalter automatisch geöffnet wird.

Fig. 220a zeigt den Apparat mit geöffnetem, Fig. 220b mit geschlossenem Hochspannungsschalter, während Fig. 221a und 221b eine schematische

1) D. R. P. No. 114303. Der Vorteil dieser Schalter wird von GEIST in Frage gestellt, die Ausführungen dieses aber durch SCHOLTES bestritten. Vgl. ETZ 1902, S. 47, ferner ETZ 1902, S. 99, 230, 285.

Darstellung der ganzen Vorrichtung und ihrer Schaltung in Ein- und Dreiphasenanlagen geben.

Das Prinzip des Apparates beruht darin, dass der Hochspannungsschalter durch Einwirkung einer elektromagnetischen Vorrichtung in Thätigkeit versetzt wird und dann wirkt, sobald man den Niederspannungsschalter bedient.

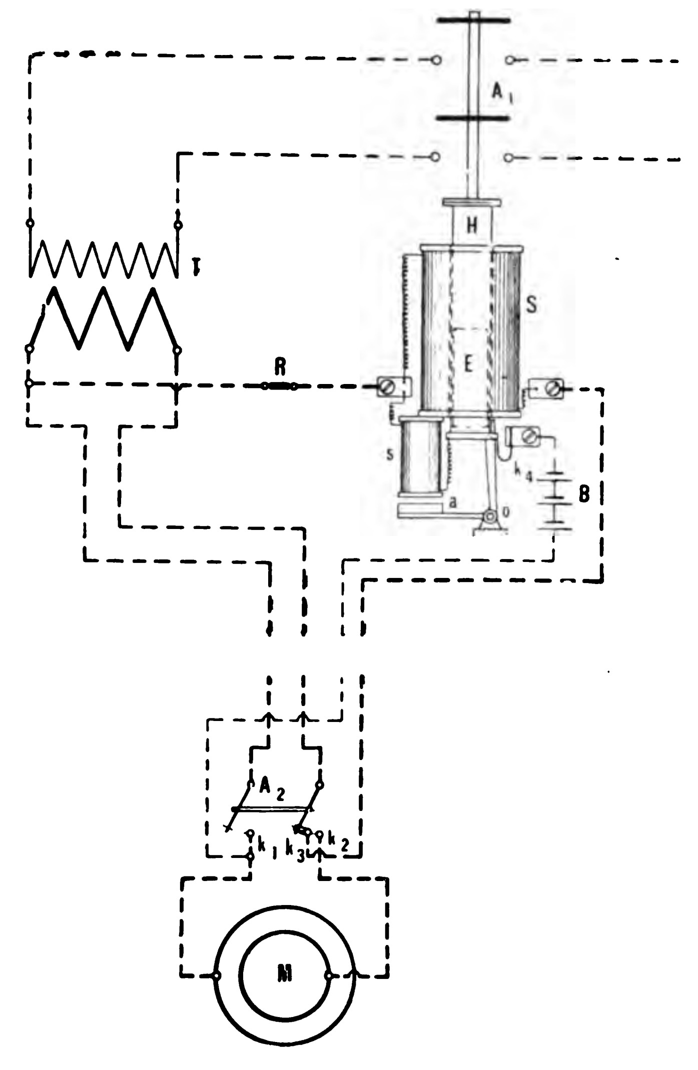


Fig. 221 a.

Der Vorgang ist beim Einschalten folgender: Wird der Schalter A_2 im sekundären Stromkreise geschlossen (Fig. 221 a), so wird dadurch gleichzeitig ein Stromkreis eingeschaltet, der von der Hilfsstromquelle *B*, der Kontaktfeder k_4 und der Magnetspule *s* gebildet wird. Der Elektromagnet *s* wird infolgedessen erregt und der Anker *a* angezogen.

Gleichzeitig wird der mit *a* fest verbundene Hebel *h*, dessen Ende die den Eisenkern einschliessende Hülse *H* stützt, gedreht, wodurch letztere nach unten fällt und ein Schliessen des Hochspannungsausschalters A_1 bewirkt.

Beim Wiederöffnen des Schalters A_2 wird zunächst der Kontakt k_3 geschlossen und die Solenoidspule S kräftig durch sekundären Wechselstrom erregt. Es erfolgt ein Einziehen des Kernes E in die Solenoidspule S, wobei die Metallhülse H nachgezogen und der Hochspannungsschalter A_1 in seine Ausschaltestellung geführt wird. Ein Zurückfallen der Schaltvorrichtung wird durch das Vorfallen des stützenden Hebels h unter die Hülse H verhindert.

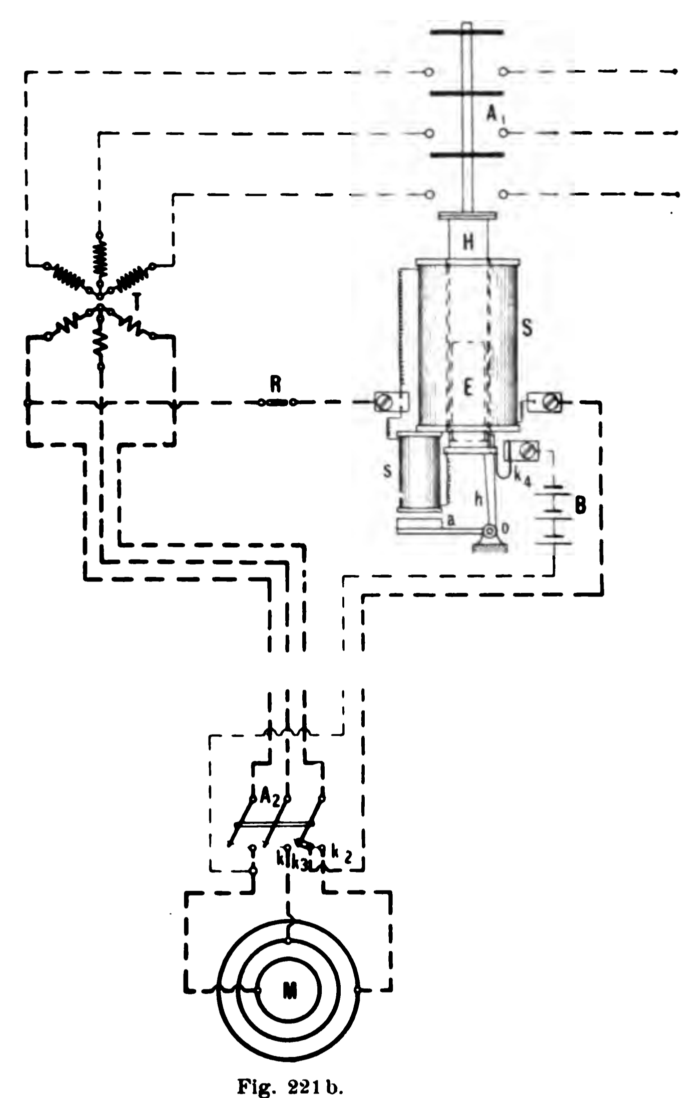


Fig. 221 b.

Der elektromagnetische Schaltapparat bleibt in seinen Ruhelagen stromlos, verbraucht keine Energie und ist geräuschlos.

Bei der Montage des Apparates muss dafür gesorgt werden, dass die Leitungen nach dem Apparat gut von der Erde isoliert sind. Namentlich, wenn man Trockenelemente als Hilfsstromquelle verwendet, ist dies zu beachten, weil deren geringe Kapazität allzuschnell erschöpft ist.

Bei sachgemässem Betrieb und richtiger Kontrolle sollte eine Störung im Apparate ausgeschlossen sein, doch kann eine solche eintreten, wenn aus

irgend welchen Gründen die Wechselstromspannung gerade im Moment des Ausschaltens eine starke Verminderung (z. B. um mehr als 25 %) erfahren würde. In diesem Falle wäre es möglich, dass die Solenoidspule nicht ausreichend Kraft äussert, um das vollständige Öffnen des Hochspannungsschalters zu bewirken, worauf die Spule, da sie für dauernden Strom nicht vorgesehen ist, durch die Schmelzsicherung *R* vom Stromkreis abgetrennt wird.

Zur Wiederinstandsetzung der Vorrichtung müsste zunächst das Wiedereintreten der normalen Betriebsspannung abgewartet und darauf eine neue Sicherungspatrone *R* eingesetzt werden.

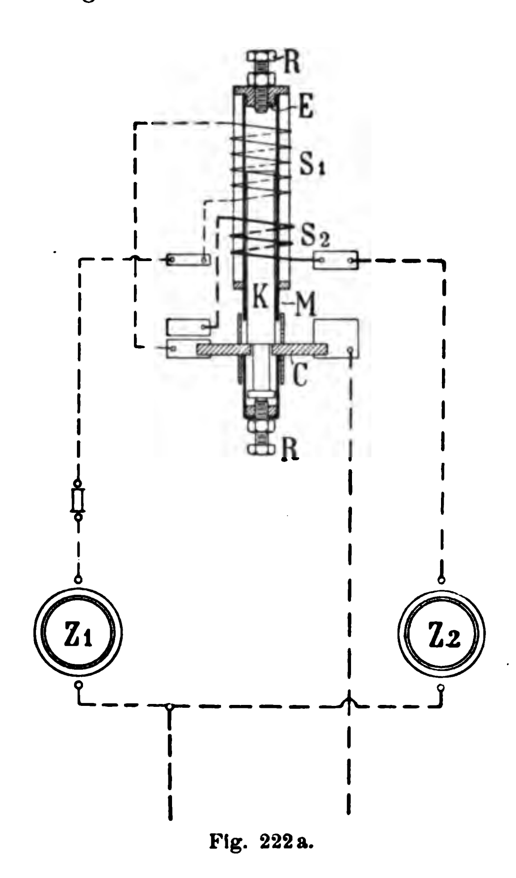


Fig. 222 a.

Ferner könnte die vorerwähnte Erschöpfung der Hilfsstromquelle, sofern dafür galvanische Elemente verwendet werden, Veranlassung zu einer Störung geben, doch kann bei einiger Kontrolle der Hilfsstromquelle dies vermieden werden.[1])

Selbstthätiger Umschalter für Messinstrumente.

336. Spezialumschalter.

An einzelnen Verbrauchsstellen tritt bei elektrischen Anlagen der Fall ein, dass man mit stark wechselndem Stromverbrauche zu rechnen hat.

---

1) Eine grössere Anzahl von Anwendungsarten dieses Schalters beschreibt SCHMIDT in der ETZ 1902, S. 513 u. 540.

Energiemengen oder Stromstärken von sehr verschiedenem Werte können aber nicht durch ein einziges Instrument mit derselben Genauigkeit gemessen werden und es ist in Fällen stark wechselnden Verbrauches erforderlich, Instrumente verschiedener Grösse anzuwenden und dem Verbrauche entsprechend jeweils das eine oder andere einzuschalten. Ein Umschalten von Hand würde, wenn nicht die zeitlichen Schwankungen des Verbrauches genau bekannt sind, eine fortwährende Beobachtung erfordern. Diese wird jedoch durch Verwendung des im nachstehenden beschriebenen Apparates überflüssig.

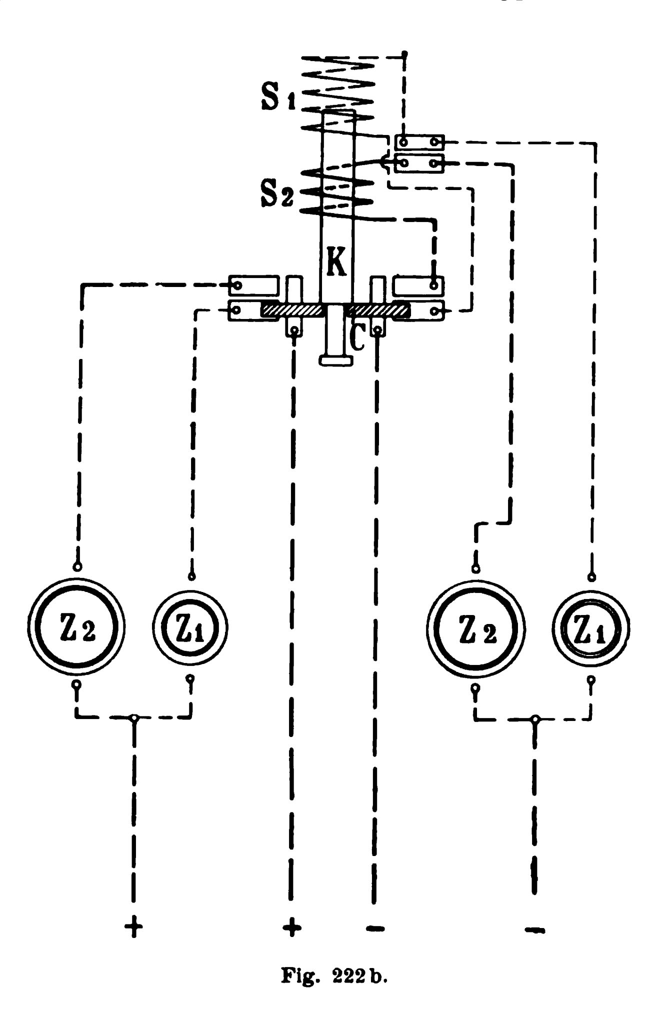


Fig. 222 b.

In der Hauptsache besteht der Apparat aus den beiden Wicklungen S_1 und S_2 (Fig. 222 a), welche abwechselnd einen Eisenkern K beeinflussen, der die Umschaltvorrichtung bethätigt. Befindet sich der Kontaktschlitten in seiner unteren Stellung und steigt der Strom in der jetzt eingeschalteten dünnen Wicklung S_1 über das für den vorgeschalteten kleineren Zähler Z_1 zulässige Mass, so wird der Eisenkern K von der Wicklung S_1 kräftig angezogen, läuft zuerst ein Stück leer und schiebt dann vermöge seiner, während des Leerlaufes gewonnenen lebendigen Kraft den Kontaktschlitten C in seine obere Stellung, wodurch S_1 und Z_1 ausgeschaltet und die dicke Wicklung S_2

mit dem grossen Zähler Z_2 eingeschaltet wird. Die dicke Wicklung Z_2 hält nun den Kern K durch die Eisenarmatur E so lange fest, bis die Verbrauchsstromstärke wieder bis in den Messbereich des kleinen Zählers Z_1 gesunken ist. Der Kern K fällt dann vermöge seines Eisengewichtes ab und schiebt den Kontaktschlitten wieder in seine untere Stellung, wodurch Z_2 und S_2 aus- und Z_1 und S_1 eingeschaltet werden. Die beiden Umschaltstromstärken können durch die oben und unten angebrachten Schrauben R in entsprechenden

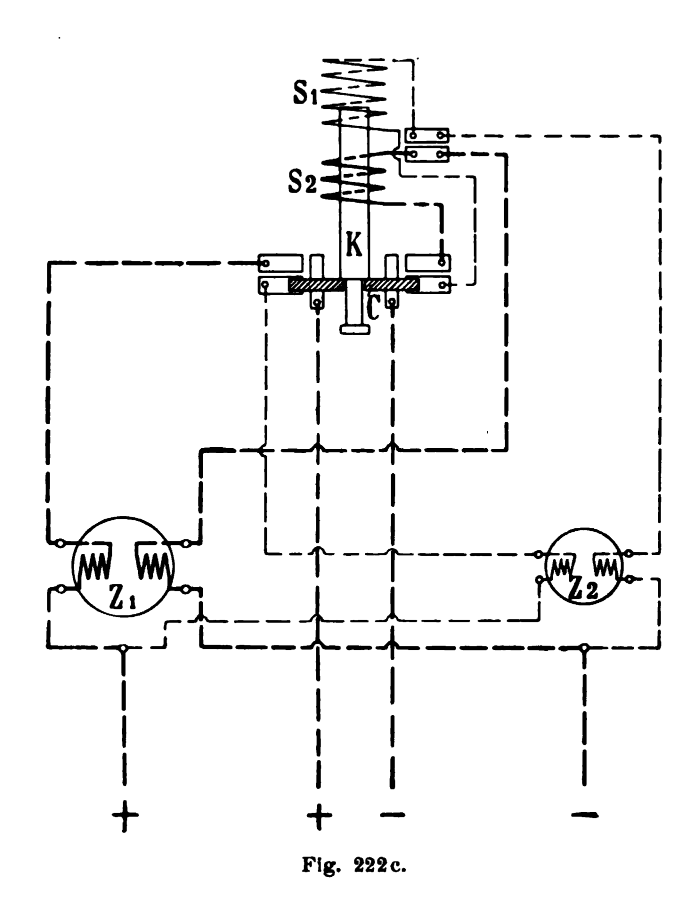


Fig. 222c.

Grenzen reguliert werden. Um ein fortwährendes Umschalten des Apparates zu vermeiden, ist es natürlich erforderlich, dass die Stromstärke, bei welcher der Kern abfällt, um 10 bis 20 $^0/_0$ der Maximalstromstärke des kleinen Zählers geringer ist als die Stromstärke für die Aufwärtsbewegung. Der Kern K ist durch das Messingrohr M gegen äussere Einflüsse geschützt.

Die Kontakte und die Führung des Kontaktschlittens C sind von Zeit zu Zeit zu reinigen und leicht einzufetten. Es ist darauf zu achten, dass der Umschalter möglichst senkrecht montiert wird und dass die Gegenmuttern der Regulierschrauben gut angezogen sind.

Aus Fig. 222a ist die Schaltungsweise des Apparates für Zweileitersysteme mit einpoligen Apparaten ersichtlich, Fig. 222b bezieht sich auf Dreileitersysteme mit vier Zweileiterzählern und Fig. 222c zeigt die Schaltung für zwei Dreileiterzähler.

Zellenschalter.[1])

337. Allgemeines

Verwendet man Sammlerbatterien, so muss man zum Aus- und Einschalten einzelner Zellen, um je nach Bedürfnis die Spannung in den Stromkreisen vermindern oder erhöhen zu können, Zellenschalter installieren. Sie werden, je nachdem es die Betriebsverhältnisse erfordern, als Einfach-, Zweifach- und Dreifachzellenschalter ausgebildet. Der erstere findet da Verwendung, wo während der Ladung weder von der Maschine, noch von der Batterie Strom in das Netz abgegeben wird. Der Doppelzellenschalter gestattet gleichzeitige Ladung und Entladung der Batterie, während Dreifachzellenschalter verwendet werden müssen, wenn von ein und derselben Batterie zwei verschiedene, aber konstant zu haltende Spannungen abgenommen werden sollen. Allerdings kann nach einem Schuckertschen Patent zum gleichen Zweck auch ein Doppelzellenschalter[2]) Verwendung finden.

Um die variable Spannung der Batterien im Netz konstant zu halten, werden Zellen zu- bezw. abgeschaltet und hängt daher die Kontaktzahl der Zellenschalter von der Anzahl der Abschaltzellen ab.

Mit geringen Abweichungen beträgt die niedrigst zulässige Spannung eines Elementes 1·85 Volt, während die höchste zur Zeit der Ladung etwa 2·7 Volt erreicht. Soll somit eine Batterie auch noch bei der niedrigsten Elementenspannung 110 Volt Klemmenspannung besitzen, so sind $\frac{110}{1{\cdot}85} = \sim 60$ Zellen erforderlich. Die Endspannung derselben beträgt aber nach der Ladung $60 \times 2{\cdot}7 = 162$ Volt, so dass $162 - 110 = 52$ Volt abschaltbar sein müssen, wenn während der Ladung Strom von 110 Volt abgenommen werden soll.

Hieraus ergiebt sich $\frac{52}{2{\cdot}7} = \sim 20$ Abschaltzellen.

Bei der Verwendung von Einfachzellenschaltern ist nur eine geringere Anzahl von Kontakten erforderlich, da für deren Berechnung die höchste Entladespannung massgebend ist. Da beim Einschalten der Entladung jede Zelle 2·2 Volt Klemmenspannung hat, so beträgt für eine Batterie von 60 Zellen die Gesamtspannung 132 Volt. Wir kommen also mit $\frac{132 - 110}{2{\cdot}2} = 10$ Kontakten aus.

Bei Batterien für höhere Spannungen, insbesondere für Bahnanlagen, bei denen erhebliche Differenzen zwischen der höchsten Lade- und der Betriebsspannung auftreten und infolgedessen eine grössere Anzahl von Kontakten erforderlich sind, werden auch zwei Zellen zwischen zwei Kontakte geschaltet.

Im wesentlichen bestehen die Zellenschalter aus einer Doppelreihe von Kontaktstücken, welche mit den aufeinanderfolgenden Zellen der Sammlerbatterie verbunden sind. Durch die Vermittlung von beweglichen Bürsten werden die Zellenschalter an das Netz bezw. an die von der Lademaschine kommenden Leitungen angelegt.

338. Kurzschlusswiderstände und ihre Anordnung.

Wenn die Kontakte nun sehr nahe aneinanderliegen, so wird beim Schalten jede zu- oder abzuschaltende Zelle kurzgeschlossen; würde man dagegen die Kontakte weit genug auseinanderlegen, dass die Bürste keinen Kurzschluss mehr herbeiführen kann, so fänden beim Schalten stets Unter-

1) Wir haben es hier nur mit dem Zellenschalter als solchem zu thun; bezüglich der Ursachen der variablen Spannungen an Akkumulatoren sei auf Bd. III des Handbuches verwiesen.

2) Siehe S. 300 dieses Bandes.

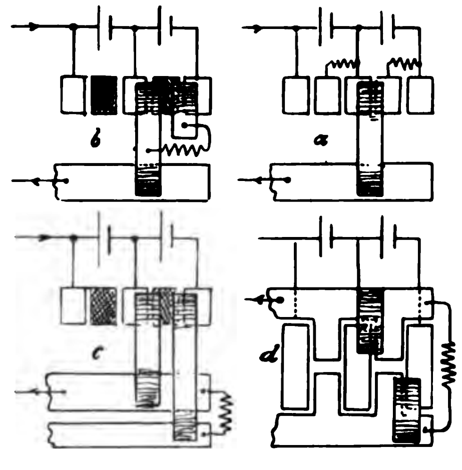


Fig. 223.

brechungen mit unvermeidlicher Funkenbildung statt, die zu einer schnellen Zerstörung der Kontakte führen würden.

Dieser Schwierigkeit begegnet man, indem man im Moment des Überschaltens von einem Kontakt zum anderen einen Widerstand in den äusseren Stromkreis des zu schaltenden Elementes einschaltet, der so bemessen ist, dass die maximale Entladestromstärke der Zelle nicht überschritten wird. Da das Schalten aber an und für sich schnell erfolgt, so ist eine hohe Strombelastung für diesen Widerstand zulässig. Es muss aber dann darauf geachtet werden, dass die Bürsten auf der Zwischenstellung nicht stehen bleiben. Die Anordnung der Kontakte und des Übergangswiderstandes kann nun verschieden sein, wie aus Fig. 223 hervorgeht.[1])

Bei der ersten Anordnung *a* liegen zwischen den Hauptkontakten Hilfskontakte, wobei die ersteren um mehr als Bürstenbreite auseinanderrücken. Hier sind immer zwischen jedem Haupt- und dem darauffolgenden Nebenkontakt feste Widerstände angeordnet, durch deren Anzahl aber die Apparate wesentlich verteuert werden.

Anordnung *b* zeigt statt einer zwei Bürsten, zwischen denen nunmehr der Übergangswiderstand liegt und somit nur ein solcher erforderlich ist. Der Zwischenraum zwischen zwei Kontakten, der ebenso gross wie bei der vorgenannten Anordnung ist, wird durch Isoliermaterial ausgefüllt, welches ein Abrutschen der Bürsten zwischen zwei Kontakten verhindert. Diese Anordnung erfordert die Unterbringung des Widerstandes, der gewöhnlich aus einer Metallspirale von hohem spezifischen Widerstand hergestellt wird, auf dem transportablen Schlitten, wodurch ein sehr gedrängter Bau angewendet werden muss.

Dies wird durch die dritte Anordnung *c* vermieden, bei welcher der Widerstand zwischen zwei Gleitbahnen liegt.

Auch bei der vierten Anordnung liegt der Widerstand zwischen zwei Gleitschienen, die jedoch eigenartig ausgebildet in Verbindung mit Hilfskontakten eine fortlaufende metallene Kontaktbahn bilden. Hierdurch sind Isoliermaterialien vermieden, die, weicher als die Kontakte, eher abgenutzt werden, wodurch unebene Kontaktbahnen entstehen.

In Fig. 224 a ist die Schaltungsweise eines Doppelzellenschalters mit selbstthätigem Antrieb dargestellt.

In Fig. 224 b ist die Schaltweise eines Einfachzellenschalters von Schuckert & Co. mit selbstthätigem Antrieb dargestellt. Zwischen den Gleitschienen S_1 und S_2 ist ein Widerstand W (Fig. 225) angeordnet, der unmittelbaren Kurzschluss zwischen den Zellenkontaktstücken vermeiden soll.

1) Entnommen aus Georg J. Erlacher, Elektrische Apparate. Hannover 1903.

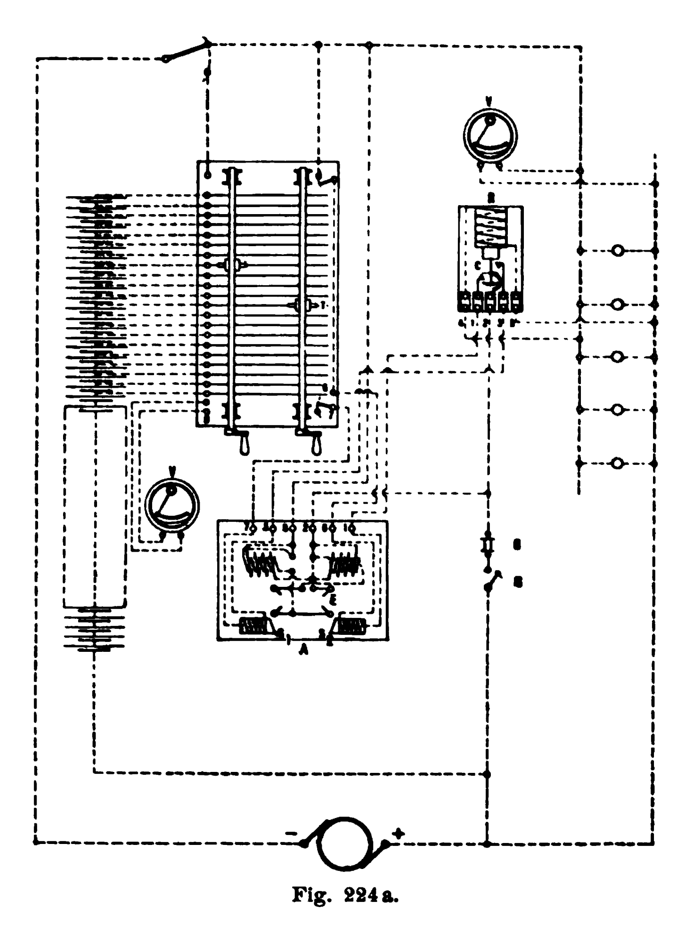


Fig. 224 a.

339. Funkenentzieher.

Bei der Besprechung der Schalter im allgemeinen haben wir gesehen, dass an den Kontaktstellen beim Öffnen starke Feuererscheinungen auftreten, deren schnelle Unterdrückung der erste Grundsatz für die Konstruktion sein muss. Schnelles Öffnen, Blasmagnete und alle möglichen anderen Hilfsmittel werden hierzu herangezogen. Die gleiche Bedingung ist beim Zellenschalter vorhanden, nur treten hier wesentlich grössere Schwierigkeiten auf als bei den übrigen Schaltern. Bei diesen kann in der Regel, wenn sie nicht von vornherein grössere Leistungen abzuschalten bestimmt sind, der Strom vor dem Abschalten vermindert werden, beim Zellenschalter müssen während des Betriebes grössere Ströme geschlossen und geöffnet werden, und zwar gestattet die bewegliche und gedrängte Anordnung des Kontaktschlittens nur schwer die Anbringung von Funkenentziehern.

In der Regel werden Abbrennkontakte angebracht, welche den Bürsten nacheilen, die aber raschem Verschleiss unterliegen. Dies ist eine notwendige Folge der verhältnismässig sehr langsamen Bewegung des Kontaktschlittens.

SCHNEIDER, Winterthur, vereinigt daher mit der Schraubspindel gerader Zellenschalter einen besonderen Springmechanismus, welcher durch Federkraft den Kontaktschlitten von einem Kontakt zum anderen wirft.[1])

1) GEORG J. ERLACHER, Elektrische Apparate. Hannover 1903, S. 134.

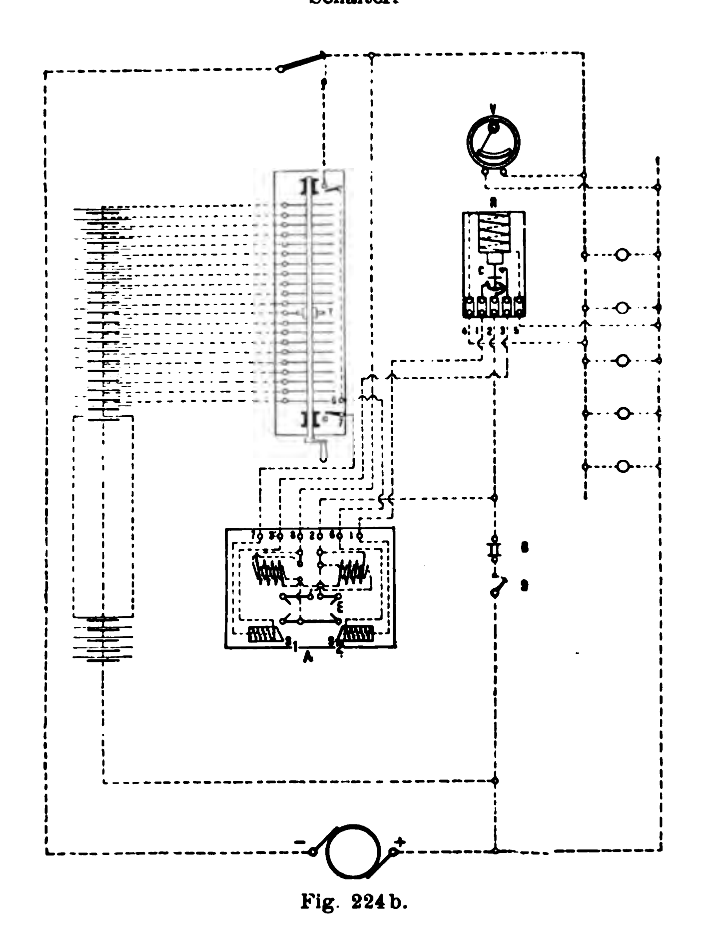


Fig. 224 b.

Eine andere sehr wichtige Anordnung ist die, bei welcher ein ausserhalb des Zellenschalters angeordneter Hilfsschalter verwendet wird, so dass Funken nur an diesem auftreten und die Bürsten die Zellenschalterkontakte stromlos verlassen und stromlos wieder auflaufen. Diesem Hilfsschalter kann auch eine bedeutend grössere Schaltgeschwindigkeit gegeben werden als dem Zellenschalter selbst.

Siemens & Halske verwenden bei ihren geraden Zellenschaltern als Funkenentzieher Kupferrollen, welche den Bürsten vor- bezw. nacheilen und an Messingklötzen vorbeistreichen.

In Fig. 224 c ist ein Doppelzellenschalter der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. mit Funkenentzieher *F* dargestellt; [1]) dieser wird an Apparaten über 200 Amp. angebracht.

Diese Funkenentziehungsvorrichtung wirkt in der Weise, dass eine in ihrer Bewegung vom Kontaktschlitten abhängige Unterbrechungsvorrichtung unmittelbar, bevor der Schlitten das Kontaktstück verlässt, den Stromkreis der durch den Widerstand geschlossenen Zelle unterbricht.

Das Abschalten einer Zelle ist in Fig. 225 a bis d dargestellt und die Wirkungsweise des Funkenentziehers *F* daraus ersichtlich.

1) D. R. P. No. 62 229.

Die rechtsseitige Kontaktfeder f_2 verbindet in Fig. 225 a die vorletzte Zelle mit der Schiene S_2, wobei der Strom durch den Widerstand W über die durch die Feder des Funkenentziehers verbundenen Teile b und c weitergeführt wird.

Fig. 225 b zeigt, dass die Bürste f_1 schon die nächste Zelle mit S_1 verbunden hat; die Feder des Funkenentziehers hat Kontakt zwischen a und c hergestellt und verlässt gerade b. In diesem Augenblick soll f_2 die Kontaktschiene der abzuschaltenden Zelle noch 5 bis 6 mm überdecken.

Die eigentliche Wirksamkeit des Funkenentziehers ist nunmehr in Fig. 225c dargestellt, und zwar ist hier der Kontakt der Feder mit b schon unterbrochen, so dass der Unterbrechungsfunke sich an dieser Stelle gebildet hat

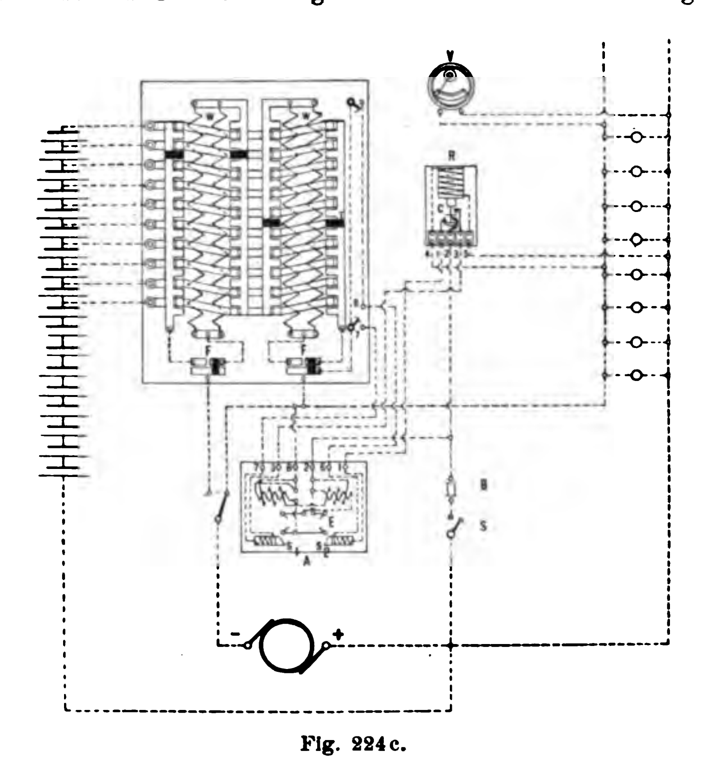


Fig. 224 c.

und f_2 nun funkenlos unterbrechen kann. Der Strom geht dann nach aussen über a und c und damit ist das vollständige Abschalten der vorletzten Zelle beendet (Fig. 225 d).

Eine weitere volle Umdrehung der Kurbel des Zellenschalters würde den Kontaktschlitten wieder in die in Fig. a gezeigte Stellung bringen, nachdem aber der Funkenentzieher jede der drei weiter beschriebenen Stellungen durcheilt hat.

Auf eine sinnreiche Anordnung eines Zellenschalters mit Funkenentziehung unter Zuhilfenahme eines Hilfsschalters, wie sie von Dr. Paul Meyer, Aktiengesellschaft, ausgeführt wird, sei hier noch eingegangen.[1]) Schematisch wird die Anordnung durch Fig. 227 a gezeigt. Es bezeichnen e die Zellenschalterkontakte, d die Zuführungsschiene, c die zur Abnahme des Nutzstromes

1) Genau beschrieben von Paul Thieme, ETZ 1903, S. 118.

dienende Hauptbürste, a und b sind Hilfsbürsten. In der Richtung des Pfeiles werden Zellen zugeschaltet. Bei dieser Bewegung wird, ehe der Kontakt c von e_2 abgleitet, durch einen Hilfsschalter eine Verbindung zwischen c und a geschaffen, so dass der Nutzstrom nunmehr über $a\,c$ fliesst, der Hauptkontakt also ohne Stromunterbrechung von c_2 abläuft. Gleichzeitig ist aber die Hilfsbürste b stromlos auf e_3 aufgelaufen. Um nunmehr einen Kurzschluss der Schaltzelle zwischen e_2 und e_3 zu vermeiden, welcher eintreten würde, wenn c auf e_3 aufläuft, wird vor dem Auflaufen c mit b zunächst durch einen Zwischenwiderstand w (Fig. 227 b) verbunden, welcher den maximalen Batteriestrom zu tragen vermag. Jetzt wird am Hilfsschalter die Verbindung zwischen a und c gelöst und der Widerstand w kurzgeschlossen, so dass nunmehr eine direkte Verbindung zwischen e_3 und b und dem Hilfsschalter nach c und d besteht. Im weiteren Verlauf gleitet nunmehr d funkenlos von e_2 ab und c auf e_3 auf. Wichtig ist, dass w am Hilfsschalter kurz-

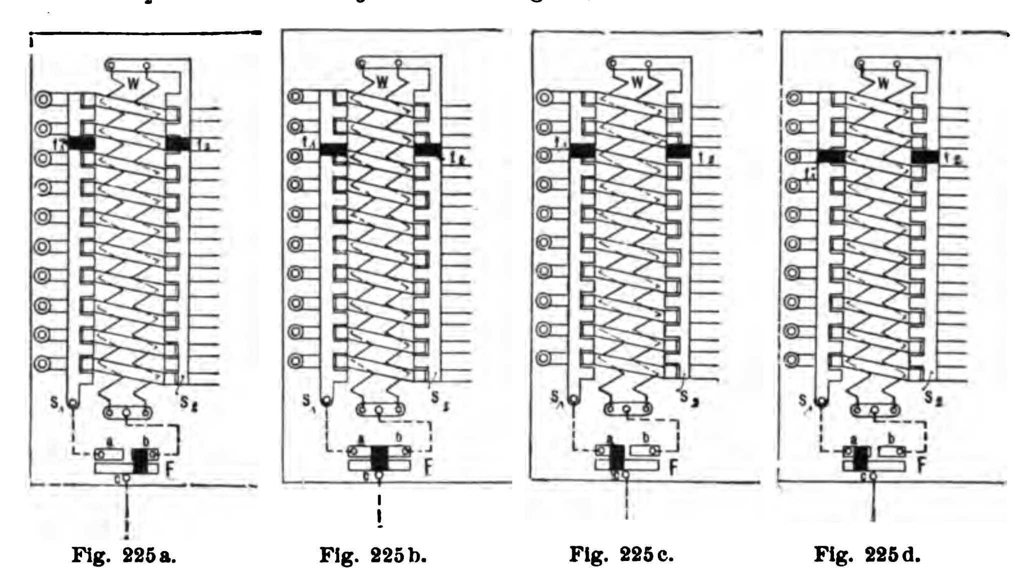


Fig. 225 a. Fig. 225 b. Fig. 225 c. Fig. 225 d.

geschlossen wird, ehe dies durch Anlaufen der Bürste c auf e_3 erfolgt, da in diesem Falle der zuerst berührende schmale Bürstenstreifen sehr überlastet wird. Schliesslich wird w abgeschaltet und die Verbindung zwischen b und c aufgehoben, so dass sich wieder die um einen Kontakt verschobene Anfangsstellung ergiebt. Beim Abschalten tritt der umgekehrte Gang der Schaltungen ein.

Dr. Paul Meyer verwendet zu dieser Schaltvorrichtung einen Drehschalter, der eine Umdrehung macht, während der Zellenschalterschlitten sich um einen Kontakt weiterbewegt. Die Anordnung und Schaltungsweise geht aus Fig. 227 c bis h hervor.

349. Ersatz eines Dreifachzellenschalters durch Zweifachzellenschalter. In Anlagen, in denen Stromerzeuger und Batterie parallel geschaltet sind, werden die Zellenschalter so angeordnet, dass zum Laden bezw. zum Entladen der Stromsammler je ein besonderer Kontaktschlitten (der Ladeschlitten und der Entladeschlitten) dient. Man kann aber auch den Ladeschlitten durch eine geeignete Umschaltung zur Entladung benutzen, um während der Zeit des stärkeren Konsums die Übertragungsfähigkeit des Zellenschalters zu verdoppeln.

Diese Umschaltung hat den wesentlichen Vorzug, dass man in der Lage ist, zwei Spannungsgefälle zu regulieren, wozu sonst ein dreifacher Zellenschalter erforderlich wäre. Durch D. R. P. No. 60845 ist die Schaltungsweise der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals SCHUCKERT & Co. geschützt; sie ist in Fig. 226 erläutert:

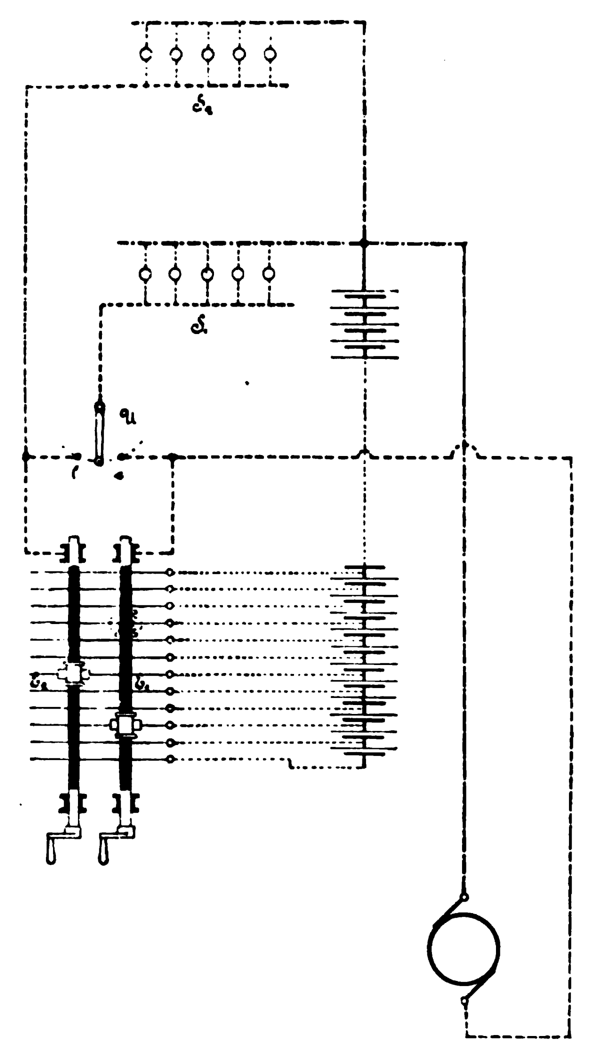


Fig. 226.

Zur wechselweisen Verwendung des Ladeschlittens als solchen bezw. als zweiten Entladeschlitten, ist ein Umschalter U angeordnet, der während der Ladezeit (Stellung l) bei schwachem Stromverbrauche die Speiseleitung S_1 parallel mit S_2 auf den Entladeschlitten E_2 und während der Entladung (Stellung e) bei starkem Stromverbrauche S_1 an E_1 schaltet.

Man wird natürlich im ersteren Falle die Spannung an den beiden Verbrauchsstellen nicht mehr genau auf gleicher Höhe halten können, doch muss man berücksichtigen, dass diese auftretenden Spannungsdifferenzen praktisch

belanglos werden, da während der Ladezeit der Stromverbrauch selten mehr als 10 % der Maximalbelastung ausmacht.

341. Konstruktive Einzelheiten.

Die Zellenschalter besitzen in der Regel Feststellvorrichtungen, die an der Kurbel angeordnet sind. Bei den runden Zellenschalteranordnungen sind kreisförmige Leisten vorgesehen, in die der Anzahl der Kontakte entsprechend Löcher gebohrt sind. Ein am beweglichen Teil angebrachter federnder Stift stellt die Bürste an richtiger Stelle fest.

Zum Schalten muss der Stift aus der Versenkung gehoben werden und fällt dann beim Schalten durch Federkraft in die nächste Bohrung. Deutlich erkennbar ist diese Vorrichtung in Fig. 228. Bei geraden Zellenschaltern

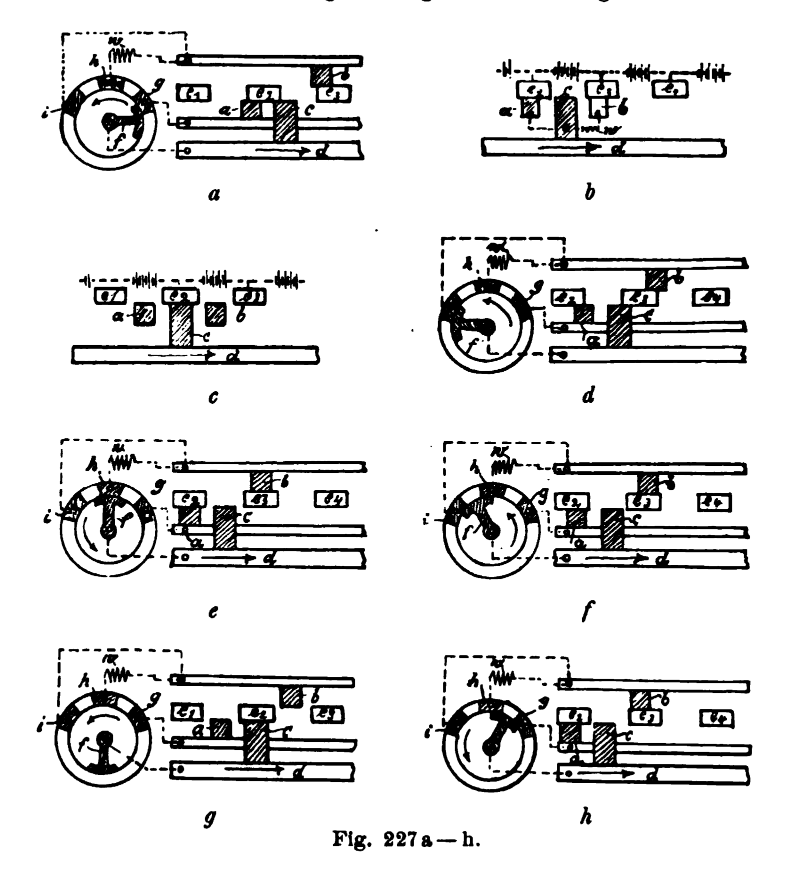


Fig. 227 a — h.

findet der Antrieb der Schlitten durch Schraubspindeln statt, und zwar ist der Vorschub so gewählt, dass eine Umdrehung der Kurbel die Bürsten von einem auf den anderen Kontakt bringt. Hier besteht die Feststellvorrichtung dann in einem Anschlag an der Kurbel, in dessen Bohrung, genau wie dies bei der runden Anordnung geschieht, ein Stift einfällt (Fig. 231).

Der Anschluss der Zellenschalter erfolgt entweder unmittelbar an die Kontakte (Fig. 228), oder es gehen vom Kontakt Anschlussstücke durch die Grundplatte, hinter der dann der Anschluss erfolgt (Fig. 230). Zum Schalten grösserer Batterien sind häufig sehr viele Kontakte und somit auch eine grössere Anzahl von Verbindungsleitungen zwischen diesen und den Zellen erforderlich. Handelt es sich um hohe Stromstärken, so bedingen diese Leitungen hohe Kosten. Nun war man früher stets bestrebt, die Zellen-

schalter möglichst auf die Schalttafeln oder in deren unmittelbare Nähe zu montieren, so dass schwierige Leitungsführungen nach weit entfernten Akkumulatorenräumen die Anlagekosten wesentlich erhöhten. Dagegen werden jetzt diese Apparate so nahe wie möglich an die Batterie versetzt und ihre



Fig. 228.



Fig. 229.

Bethätigung findet durch Fernschaltung statt. Andere Versuche, die Anzahl der Zellenschalterleitungen zu reduzieren, waren erfolglos.[1])

Fig. 228 u. 229 zeigen runde Doppelzellenschalter, der erstere von Dr. Paul Meyer, der letztere von Voigt & Haeffner. Ein gleicher Apparat

1) Georg J. Erlacher, Elektrische Apparate. Hannover 1903, S. 186.

von SIEMENS & HALSKE, aber für automatischen Betrieb bestimmt, ist in Fig. 230 wiedergegeben.

Geradlinige Zellenschalter weichen in ihren Konstruktionen wenig voneinander ab (Fig. 231, SIEMENS & HALSKE).[1])

342. Gruppenschalter.

Ein von der Firma PAUL MEYER, Aktiengesellschaft, konstruierter Gruppenschalter (Fig. 232b) dient zur Ladung von Akkumulatorenbatterien direkt von der Betriebsmaschine aus, welche dabei mit normaler Spannung konstant arbeitet. Die Akkumulatorenbatterie wird in drei Teile zerlegt, deren Zellenzahl so bemessen ist, dass zwei Teile in Hintereinanderschaltung direkt von der Betriebsspannung geladen werden können. Diese Hintereinanderschaltung geschieht umschichtig, und zwar zuerst I und II, dann II und III, sowie I und III, wodurch der Vorteil erreicht wird, dass die Betriebsmaschine stets mit derjenigen günstigsten Spannung arbeitet, für welche sie gebaut



Fig. 230.

ist. Die unrationelle Benutzung der Maschine wird also vermieden, die eintritt, wenn dieselbe mit abgeschwächtem Felde arbeiten muss, was erfahrungsgemäss in den allermeisten Fällen während der grösseren Zeit des Ladebetriebes geschieht, wenn mit der Betriebsdynamo geladen werden muss.

Die Dauer der Ladung wird auf die anderthalbfache Zeit verteilt und kann während der Ladung Strom von normaler Spannung für jeden Zweck abgegeben werden. Der Gruppenschalter ist speziell für kleinere Anlagen bestimmt, bei welchen sich die Beschaffung einer Zusatzdynamo nicht rentiert.

Die Entladung der Batterie erfolgt bei Hintereinanderschaltung der drei Teile unter Verwendung eines Einfachzellenschalters, welcher mit 9 resp. 19 Kontakten für 110 resp. 220 Volt Betriebsspannung ausgerüstet ist. Zum Ausgleich des Spannungsunterschiedes zwischen Anfang und Ende der Ladung wird ein Widerstand eingeschaltet.

---

1) Siehe auch Fig. 238, S. 312.

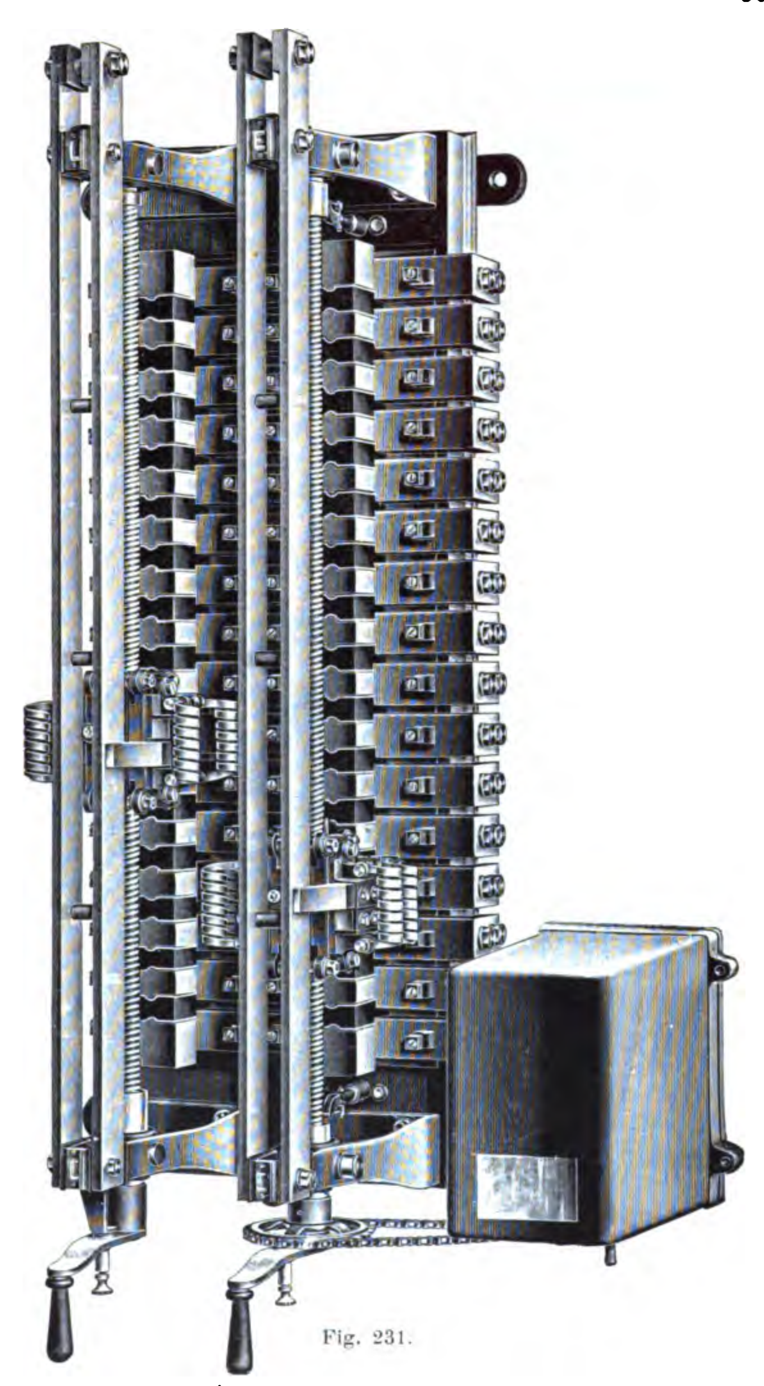


Fig. 231.

Stellung 1: Entladung der drei Batterieteile in einer Reihe.
+ Netz, b, A, a + III, f, B, e, + II, — II, + I, — I, Z, d, C, c, — Netz.

Stellung 2: Ladung von Reihe II und III.
+ Netz, b, A, a, + III, — III, f, B, e, + II, — II, g, h, C, i, W, — Netz.

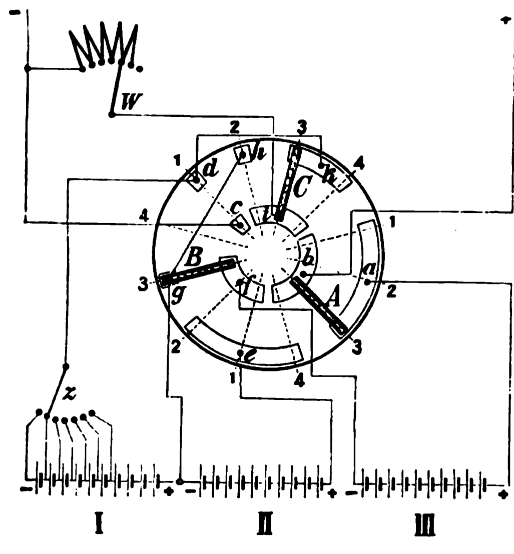


Fig. 232a.

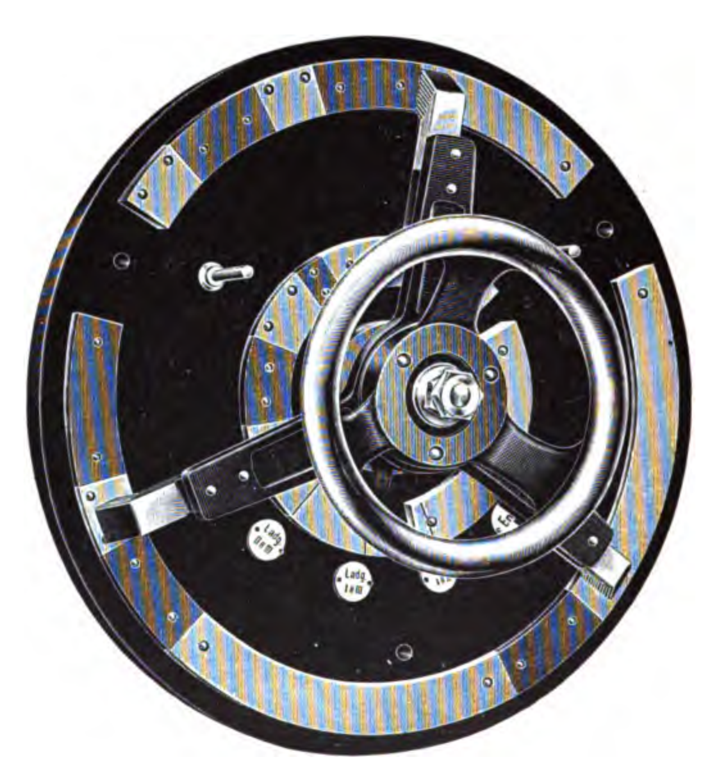


Fig. 232b.

Stellung 3: Ladung von Reihe I und III.
+ Netz, b, A, a, + III, — III, f, B, g, + I, — I, Z, d, k, C, i, W, — Netz.

Stellung 4: Ladung von Reihe I und II.
+ Netz, b, A, e, + II, — II, + I, — I, Z, d, k, C, i, W, — Netz.

Selbstthätige Antriebsvorrichtungen für Zellenschalter.

343. Vorrichtung von Schuckert.[1]

Da von der regelrechten Bethätigung der Zellenschalter, hauptsächlich in solchen Anlagen, bei denen die Batterien den Spannungsausgleich herbeiführen, eine konstante Betriebsspannung abhängt, ist man hier, wie in vielen anderen Fällen, bemüht, sich vom Bedienungspersonal unabhängig zu machen und eine automatische Regulierung herbeizuführen. Alle derartigen Apparate werden durch Relais beeinflusst und sind derart konstruiert, dass der Schlitten des Zellenschalters stets um einen bestimmten Weg vorgeschoben wird, welcher genau die mittlere Entfernung zwischen zwei Kontakten ausmacht. Der automatische Zellenschalter der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. besteht in erster Linie aus einem Elektromotor E, der seine Bewegung durch Zahnräder auf die Kurbel des Zellenschalterapparates überträgt, ferner aus zwei Schaltmagneten s_1 und s_2, die durch Hebel, Klinken und Bürsten die Drehung des Motors in dem einen oder anderen Sinne einleiten und schliesslich aus einem Relais, welches die beiden Schaltmagnete s_1 und s_2 beeinflusst (Fig. 224 a u. b).

Das Relais ist mit der Lichtleitung verbunden und steht unter dem Einflusse der Verbrauchsspannung; es wird so einreguliert, dass bei normaler Spannung die mit dem Eisenkern fest verbundene Kontaktscheibe C in der Mitte zwischen den beiden Kontakten 1 und 3 schwebt. Steigt nun die Spannung an den Lampen, so wird der Eisenkern in der Spule emporgezogen und ein Kontakt zwischen Scheibe C und 3 hergestellt; sinkt jedoch die Lampenspannung, so bewegt sich der Eisenkern in der Spule nach abwärts, so dass die Kontaktscheibe C Verbindung mit Kontakt 1 herstellt. Der Schaltmagnet s_1 wird bei der Spannungssteigerung erregt und veranlasst den Motor E zu einer Drehung in solcher Richtung, dass sich der Kontaktschlitten T durch die Zahnradübertragung nach abwärts bewegt, d. h. Zellen abgeschaltet werden.

Bei Montage der selbstthätigen Antriebsvorrichtung muss darauf geachtet werden, dass der Apparat senkrecht hängt und dass sich die Mitte des grossen Zahnrades genau in der Achse der Kontaktspindel des Zellenschalters befindet; durch Unterlegen der Grundplatten wird dies leicht zu erreichen sein. Der Eisenkern des Relais wird in dieser Stellung auch nicht an der inneren Wand streifen; das Relais wird so einreguliert, dass die Platinscheibe bei Schwankungen in der Spannung um je 1·5 % den oberen oder unteren Kontakt schliesst; die ganze Spannungsdifferenz beträgt demnach ca. 3 %. Durch Enger- oder Weiterstellen der beiden Kontakthebel lässt sich die Empfindlichkeit des Relais verändern, doch soll dies möglichst von unberufener Hand vermieden werden.

Bei Anwendung höherer Spannungen kommen zu dem Relais und eventuell auch zu dem selbstthätigen Antriebe noch Zusatzwiderstände.

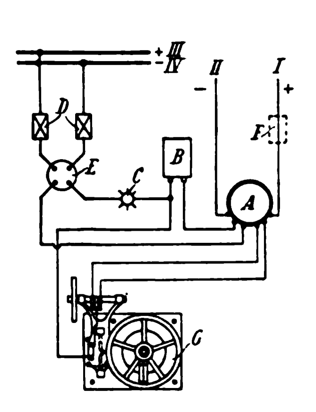
Auch bei den von anderen Firmen erbauten selbstthätigen Zellenschaltern findet die Beeinflussung der Antriebsvorrichtung durch ein Relais statt. Der mechanische Antrieb gestaltet sich jedoch teilweise anders.

344. Vorrichtung von Siemens & Halske.

Die von Siemens & Halske in runder Form gebauten Zellenschalter erhalten automatischen Antrieb durch ein Klinkwerk, während die geraden direkt durch einen Elektromotor in Thätigkeit gesetzt werden.

1) D. R. P. No. 59 731.

Wie Fig. 230 u. 233 a zeigen,[1]) wird auf die Achse des Zellenschalters ein Klinkrad und auf seine Grundplatte ein Rahmen montiert, in welchem sich eine durch einen Excenter angetriebene und mit zwei Klinken versehene Schubstange auf und ab bewegen kann. Der Antrieb der Excenterwelle erfolgt von einer kleinen hinter der Schalttafel angeordneten Transmission, von welcher aus dann mehrere derartige Apparate gleichzeitig angetrieben werden, oder auch durch einen besonderen Elektromotor durch Riemen. Hinter der Schubstange ist ein kleiner Elektromagnet angebracht, welcher auf die bereits erwähnten Klinken einwirkt. Diese sind innerhalb der Schubstange derart angeordnet, dass ihr Hervortreten beim Niedergang der Schubstange eine Linksdrehung, bei ihrer Aufwärtsbewegung eine Rechtsdrehung des Klinkrades herbeiführt. Die Grösse des Hubes der Schubstange ist so bemessen, dass die Schleifbürste des Stufenschalters pro Hub um eine ganze Stufe weiter bewegt wird. Der Strom wird dem Elektromagneten des Klinkwerkes durch einen auf der Excenterwelle befestigten Schleifkontakt zugeführt, der



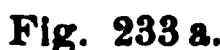

Fig. 233 a.


Fig. 233 b.

aus einem isoliert auf die Welle aufgesetzten Metallringe besteht. Dieser trägt rechts und links zwei um 180° gegeneinander versetzte Vorsprünge, gegen welche drei Federn schleifen. Die mittlere Feder, die beständig mit dem Kontaktring in Verbindung bleibt, steht mit der Wicklung des Elektromagneten in Verbindung, während die beiden äusseren Federn nur so lange, als sie mit den Vorsprüngen des Ringes Kontakt bilden, den Strom in den Elektromagneten leiten.

Der Steuerapparat (Fig. 233 b) besteht aus einem Elektromagneten mit vielen Drahtwindungen, dem Steuermagneten, dessen Anker an einer Blattfeder befestigt ist. Die Blattfeder läuft in eine Zunge aus, die zwischen zwei Kontaktschrauben einspielt. Die Elektromagnetwicklung wird an die Punkte der Leitung, deren Spannung konstant erhalten werden soll, angeschlossen. Bei normaler Spannung schwebt die Zunge frei zwischen den beiden Kontaktschrauben. Sobald die Spannung sinkt, wird die Anziehungskraft des Magneten schwächer, die Zunge legt sich gegen die linke Kontaktschraube und sendet Strom in die linke Feder des Klinkwerkes, so dass

1) Eine genaue Beschreibung giebt Klein. E. A. 1904 Heft 14 und 15.

beim Niedergange der Schubstange der Elektromagnetanker die Klinken gegen das Klinkrad drückt, dieses daher entgegen der Richtung des Uhrzeigers gedreht wird und die der Spannungserhöhung entsprechende Schaltung vornimmt. Überschreitet dagegen die Spannung den normalen Betrag, so bewirkt die Vergrösserung der Anziehungskraft des Steuermagneten eine Berührung der Zunge mit der rechten Kontaktschraube. Der Strom geht alsdann zur rechten Feder des Klinkwerkes, der Elektromagnet erhält also während des Aufwärtsgehens der Schubstange Strom und drückt die Klinken gegen das Klinkrad. Das Klinkrad wird dadurch im Sinne des Uhrzeigers gedreht und führt die der Spannungserniedrigung entsprechende Schaltung aus. Um die Empfindlichkeit des Steuerapparates zu erhöhen und um gleichzeitig zu verhindern, dass an den Kontakten Feuer auftritt, ist der Elektromagnet des Steuerapparates noch mit zwei Hilfswicklungen versehen, durch die der beim Anlegen der Zungen an die Kontaktschrauben geschlossene Strom hindurchgehen muss. Die mit der linken Kontaktschraube verbundene Hilfswicklung ist der Hauptwicklung entgegengesetzt geschaltet, bewirkt also eine Schwächung des Magnetismus und dementsprechend ein stärkeres Anpressen der Zunge gegen diese Schraube, während mit der rechten Kontaktschraube eine im gleichen Sinne wie die Hauptwicklung gewickelte Hilfswicklung verbunden ist, durch deren Einfluss die Anziehungskraft verstärkt und die Zunge daher kräftiger gegen die rechte Kontaktschraube gedrückt wird. Es wird durch diese Einrichtung bewirkt, dass schon bei kleinen Spannungsschwankungen ein genügend sicherer Kontakt zwischen Zunge und Schraube entsteht, der so lange bestehen bleibt, wie Strom hindurch geht. Beim Rückgang der Schubstange werden der Elektromagnet des Klinkwerkes und die Hilfswicklung des Steuerapparates stromlos; die Öffnungs- und Schliessungsfunken entstehen hierbei nicht an den Kontakten des Steuerapparates, sondern an dem auf der Welle des Klinkwerkes befestigten Schleifkontakt. Die Zunge des Steuerapparates kann sich dann wieder frei einstellen.

Die wie vor beschriebenen Einstellvorrichtungen können für runde Zellenschalter bis 400 Amp. verwendet werden.

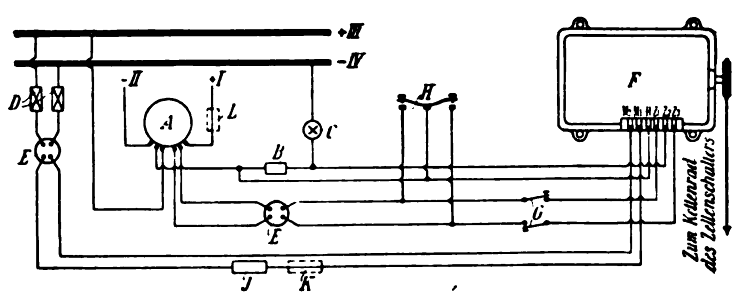
Fig. 231 zeigt die Anordnung des motorischen Antriebes der geraden Zellenschalter von Siemens & Halske. An der Kurbel derselben ist ein Kettenrad befestigt, welches vermittels einer Kette durch einen Elektromotor angetrieben wird. Vor dem ersten und hinter dem letzten Kontakt ist je ein Endausschalter angebracht, welcher den Strom für den Elektromotor unterbricht, sobald die Schleifbürsten die äusserste Stellung erreicht haben. Bei Doppelzellenschaltern wird nur die Entladeseite automatisch angetrieben.

In Fig. 234 ist das Schaltungsschema dieser Anordnung wiedergegeben. Zwischen *I* und *II* liegt die konstant zu haltende, zwischen *III* und *IV* die zum Betriebe der Einstellvorrichtung bestimmte Spannung, welche letztere höchstens 220 Volt betragen darf. Um namentlich beim Laden die Zellenregulierung auch von der Hand bethätigen zu können, ist ein mit zwei Druckknöpfen versehener Taster parallel zum Steuerapparat geschaltet.

Siemens & Halske verbinden mit diesen Zellenschaltern auch Fernzeigevorrichtungen, an welchen an beliebiger Stelle der jeweilige Stand der Bürsten erkennbar ist.

345. Schaltvorrichtung von Voigt & Haeffner.

Die automatischen Zellenschalter von Voigt & Haeffner (Fig. 235) erhalten ihren Antrieb durch einen kleinen Elektromotor, welcher stets für eine



A Steuerapparat. *B* Hilfsspule. *C* Glühlampe. *D* Sicherung. *E* Zweipoliger Ausschalter. *F* Kasten mit Motor und Zwischenrelais. *G* Endausschalter. *H* Taster. *J* Regulierbarer Zusatzwiderstand. *K* Zusatzwiderstand. *L* Vorschaltwiderstand.

Fig. 234.

Drehrichtung im gleichen Sinne Strom erhält. Der Motor bringt, sobald durch Vermittelung eines Relais Stromschluss erfolgt, ein Klinkengehäuse in schwingende Bewegung, dessen Klinken in das eigentliche Schaltrad nach Art einer Ratsche eingreifen. Am Klinkengehäuse sind zwei Elektromagneten

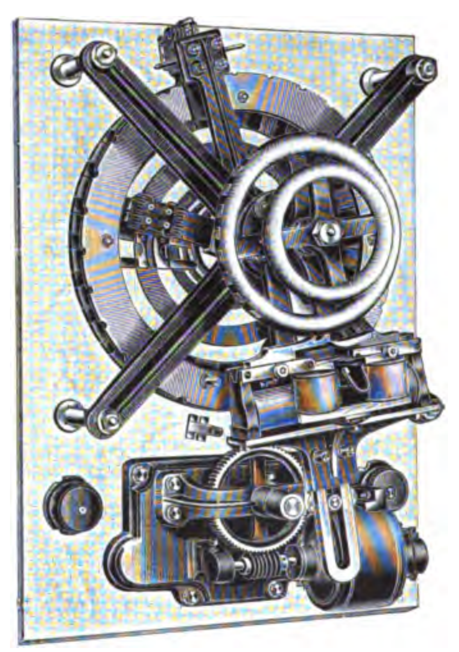


Fig. 235.

angeordnet, von denen einer auf jede Klinke wirkt. Während des Schaltens tritt nun diejenige Klinke jeweilig in Thätigkeit, deren Elektromagnet vom Relais Strom erhält und dreht das Schaltrad im einen oder anderen Sinne, um Zellen zu- oder abzuschalten.

346. Schaltvorrichtung von Thury.

In Fig. 236 ist ein automatischer Regulator System Thury dargestellt, der in der Kraftübertragungsanlage für die Stadt Lausanne Verwendung findet. Derselbe erhält mechanischen Antrieb durch einen Motor *Mr* mit 2·3 bis 2·4 Volt und 50 Amp. bei Leerlauf und 60 Amp. bei Betrieb. Durch denselben wird mittelst Schneckenbetrieb und Kurbel der Winkelhebel *HH*, der ein Klinkenpaar K_1' K_2' trägt, hin- und herbewegt. Zwischen den Klinken

befinden sich scharfe Zähne, auf welche eine derselben stösst und dadurch das Zahnrad dreht. Um ein Überregulieren zu verhindern, ist noch das System des Luft- und Ölpuffers *P* angebracht, dessen Kolben am Ende der Lamelle *N* befestigt ist.

Der Regulator würde durch Unterbrechung des Hauptstromes, also Stillstand des Motors, versagen. Diesem Umstande vorzubeugen, ist eine Akkumulatorenzelle vorgesehen, die gleichzeitig mit dem Motor eingeschaltet und im Betriebe selbstthätig geladen wird. Das Unwirksamwerden des Glockenmagneten *R* wird dadurch verhütet, dass ein Teil des Maschinenstromes noch die Spule des Elektromagneten *Em* passiert, der seinen Anker nebst Gewicht *G* im Betriebe angezogen hält. Das Triebwerk des Regulators bewirkt die Regulierung der Stromstärke dadurch, dass das auf einer isolierten, horizontalen Welle sitzende Zahnrad *Z* die Turbinenregulatoren beeinflusst.

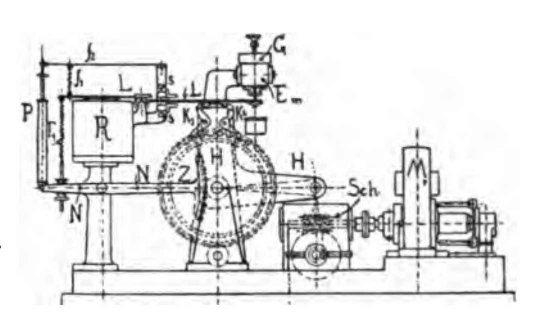


Fig. 236.

347. Montage und Behandlung des Zellenschalters.

Die Montage des Zellenschalters und die Behandlung desselben muss sehr gewissenhaft vor sich gehen.

Der Apparat muss in erster Linie vor Feuchtigkeit bewahrt und durch isolierte Grundplatten geschützt werden. Verwendet man zwei an den Polen der Batterie angeordnete Zellenschalter, wie z. B. im Dreileitersystem, so muss man ausserdem darauf achten, dass die beiden Grundplatten nicht allein von der Erde, sondern auch gegenseitig voneinander gut isoliert sind.

Runde Zellenschalter, welche Kontaktschlitten mit Kreisbewegung haben, sind so anzuschliessen, dass bei einer Linksdrehung die Zellen zugeschaltet werden, also die Spannung steigt.

Geradlinige Zellenschalter müssen so angeschlossen werden, dass bei Aufwärtsbewegung des Kontaktschlittens Zellen zugeschaltet werden.

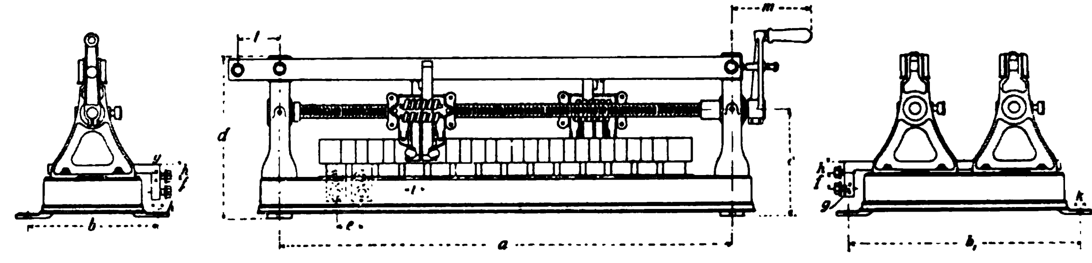
Beim Anschliessen der Leitungen muss so vorsichtig verfahren werden, dass eine Beschädigung der Kontakte ausgeschlossen ist; man vermeide zwangsweises Heranbringen der nach dem Zellenschalter führenden Leitungen, hauptsächlich wenn es sich um grössere Querschnitte handelt. Entweder werden diese so angepasst, dass sie schon ohne die Befestigungsschraube gut am Zellenschalterkontakt anliegen — Stanniol darf nicht zwischengelegt werden — oder es werden, wenn Leitungen von über 30 mm² Querschnitt Verwendung finden, Stücke von leicht beweglichem Kabel oder Kupferseil in einer Länge von ca. 300 bis 500 mm zwischengesetzt.

Dass die Montage von Zellenschaltern, welche automatischen Antrieb erhalten sollen, noch sorgfältiger erfolgen muss, als die der anderen, geht schon aus der diffizilen Konstruktion jedes derartig automatisch wirkenden Apparates hervor. In erster Linie muss hier dem empfindlichen Relais die grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wenn es auch mit besonderer Dämpfung ausgerüstet ist, muss es doch an völlig erschütterungsfreien Wänden angebracht werden. Die Empfindlichkeit gegen nahe Starkströme bedingt ihre Anbringung in einiger Entfernung von solchen Leitungen, welche hohe Stromstärken führen.

348. Mass-tabellen von Zellen-schaltern.

Tabelle No. 83.

Gerade Zellenschalter für Ströme bis 1500 Ampere der Siemens & Halske-A.-G.



N.801. Fig. 237. Doppel-Zellenschalter für Handbetrieb. N.803.

Type	a	b	b_1	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m
N.801 a u. N.803 a	siehe unten	270	470	218	325	47·6	30	13	26	34	18	90	160
N.801 b „ N.803 b		290	510	243	367	57·1	30	13	30	44	22	95	175
N.801 c „ N.803 c		335	595	280	423	66·6	40	16	34	54	22	105	200
N.801 d „ N.803 d		390	690	315	481	76·2	45	16	40	64	28	120	210

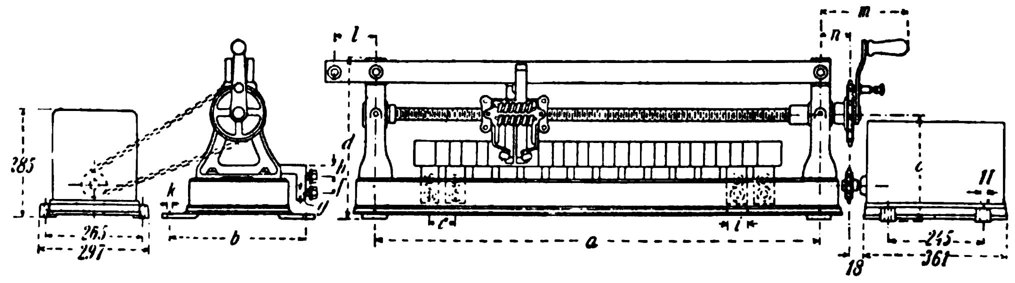


Fig. 238. Einfach-Zellenschalter für selbstthätigen Betrieb.

Bei Doppel-Zellenschalter N.804 gilt statt des Masses *b* das in der oberen Tabelle und Skizze angegebene Mass b_1.

Type	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
N.802 a u. N.804 a	siehe unten	270	218	325	47·6	30	13	26	34	18	90	201	77
X.802 b „ N.804 b		290	243	367	57·1	30	13	30	44	22	95	217	81
N.802 c „ N.804 c		335	280	423	66·6	40	16	34	54	22	105	241	88
N.802 d „ N.804 d		390	315	481	76·2	45	16	40	64	28	120	255	94

Länge „a"

bei verschiedener (durch den Index angedeuteter) Kontaktzahl.

Type	a_{12}	a_{16}	a_{20}	a_{24}	a_{30}
N.801 a bis N.804 a	764	954	1145	1335	1620
N.801 b „ N.804 b	900	1128	1356	1584	1928
N.801 c „ N.804 c	1023	1290	1556	1823	2223
N.801 d „ N.804 d	1178	1483	1788	2092	2550

Tabelle No. 84.

Masse der Einfach-Zellenschalter mit Kreisbewegung (Fig. 239—242).

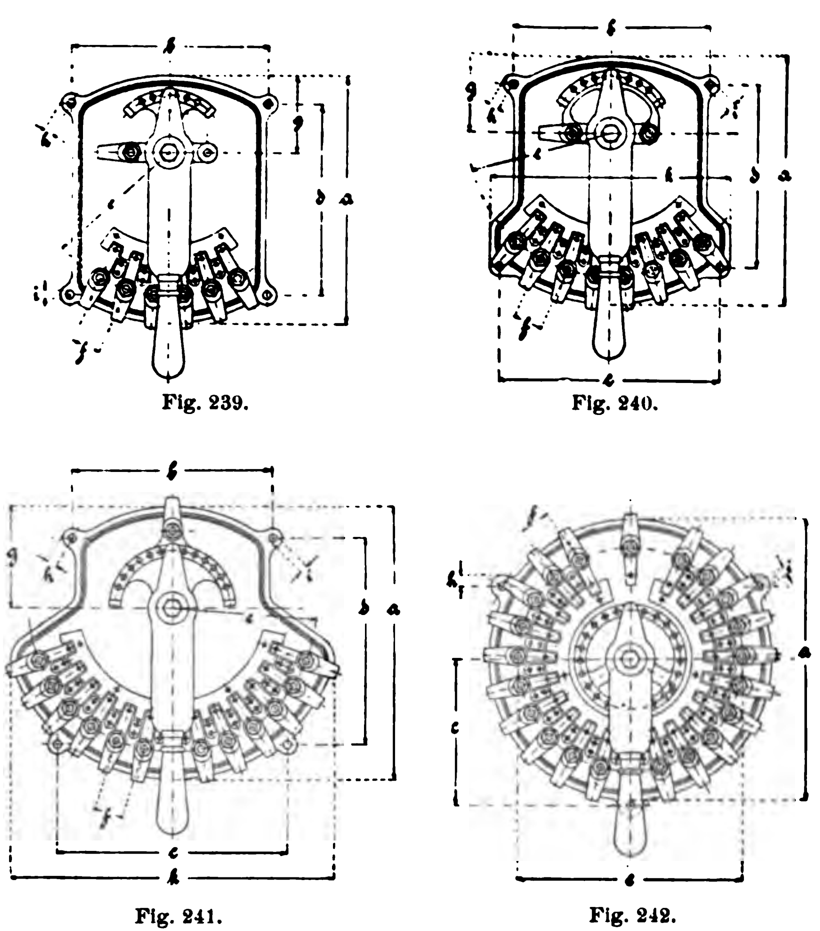


Fig. 239. Fig. 240. Fig. 241. Fig. 242.

Ampere	Zellenzahl	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
20, 30	5	204	178	—	140	112	27	67	10	8	—
40, 60	Fig. 239.	260	204	—	200	150	30	80	10	8	—
80, 100, 130		330	260	—	254	210	42	90	12	8	—
20, 30	7	204	178	200	129	112	27	67	10	8	220
40, 60	Fig. 240.	260	204	230	190	150	30	80	10	8	250
80, 100, 130		330	260	304	242	210	42	90	12	8	328
20, 30	12	228	170	210	150	112	27	90	10	8	275
40, 60	Fig. 241.	285	210	240	212	150	30	107	10	8	340
80, 100, 130		366	270	326	260	210	42	122	12	8	460
20, 30	20	254	—	130	—	194	27	—	10	8	—
40, 60	Fig. 242.	294	—	153	—	234	31	—	12	8	—
80, 100, 130		418	—	216	—	334	45	—	16	8	—

Tabelle No. 85.

Masse gerader Schuckertscher Doppel-Zellenschalter mit Spindelbewegung (Fig. 243).

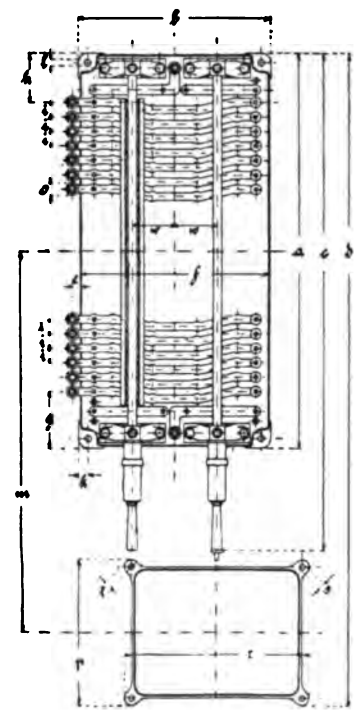


Fig. 243.

Amp.	Zellenzahl	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p
165	12	580	398	710	1030	14	386	118	102	30	20	13	590	—	22	88
	20	820		950	1270								710			
	22	880		1010	1330								740			
	25	970		1100	1420								785			
	28	1060		1190	1510								830			
	33	1210		1340	1660								905			
200	12	580	398	785	1115	14	386	118	102	30	20	13	675	—	22	88
	20	820		1025	1355								795			
	22	880		1085	1415								825			
	25	970		1175	1505								870			
	28	1060		1265	1595								915			
	33	1210		1415	1745								990			
235, 275, 330	12	704	512	925	1264	19	512	145	127	36	24	17	760	—	28	104
	20	992		1212	1550								905			
	22	1064		1284	1624								940			
	25	1172		1392	1732								995			
	28	1280		1500	1840								1045			
	33	1460		1680	2020								1135			
400	12	704	512	942	1280	14	512	145	127	36	24	17	775	—	34	112
	20	992		1230	1568								920			
	22	1064		1302	1640								955			
	25	1172		1410	1748								1010			
	28	1280		1518	1856								1063			
	33	1460		1698	2036								1153			

Sicherungen.

Wie bereits auf Seite 21 dieses Bandes auseinandergesetzt wurde, erwärmen sich die Leitungen beim Stromdurchgang. Die entwickelte Wärmemenge ist nach dem JOULEschen Gesetz $J^2 W$, so dass bei gleichem Widerstand die Erwärmung um so grösser wird, je stärker der die Leitung durchfliessende Strom ist.

349. Allgemeines.

Die Erwärmung kann bei Kurzschlüssen und Überlastungen so gross werden, dass die Isolierung der Leitungen leidet und die Seele schliesslich glühend wird und schmilzt, so dass eine Entzündung in der Nähe befindlicher brennbarer Stoffe sowie Betriebsstörungen herbeigeführt werden können. Bei starken Kurzschlüssen kann unter Umständen die Wärmeentwickelung so enorm sein, dass das Leitungskupfer momentan vergast.

Zur Vermeidung einer derart hohen Strombelastung der Leitungen werden in dieselben nach einer Erfindung EDISONS Metallteile eingeschaltet, welche so gebaut werden, dass die JOULEsche Wärme sie eher zum Schmelzen bringt, als die Erwärmung des betreffenden Leitungsmaterials eine gewisse Grenze überschritten hat. Um dies zu erreichen, wurden ursprünglich nur solche Materialien zu Schmelzstreifen verwendet, welche einen höheren spezifischen Widerstand als Kupfer haben. Heute findet vielfach Silber mit gutem Erfolg Verwendung, trotzdem es besser leitet und einen höher liegenden Schmelzpunkt als die früher üblichen Metalle hat.

350. Gesichtspunkte für die Dimensionierung der Schmelzstreifen.

Steigt der in einem Stromkreis fliessende Strom über eine gewisse Grenze, so wird die Erwärmung des Schmelzstreifens sich so steigern, dass er selbstthätig abschmilzt. Die Bemessung der Schmelzstreifen muss nun derart erfolgen, dass die Schmelzstromstärke zum Betriebsstrom in einem bestimmten Verhältnis steht. Für die Wahl der Sicherungen ist es jedoch wichtig zu beachten, dass häufig in einzelnen Stromkreisen, wie z. B. solchen für Kraftzwecke, eine bedeutend höhere Stromstärke als die normale auftritt, aber nur kurze Zeit andauert.[1]) In diesem Fall muss die Sicherung träge genug sein, um solche Stromstösse aushalten zu können. Es ist daher in erster Linie erforderlich, dass die Schmelzstreifen ganz besondere Funktionen erfüllen, wenn sie die Teile einer Anlage, in welche sie eingeschaltet werden, vor schädlicher Erwärmung schützen und somit deren Feuersicherheit verbürgen sollen. In zweiter Linie hängt von ihnen aber auch die Betriebssicherheit in hohem Masse ab, so dass ein Durchschmelzen thatsächlich nur bei

---

1) Intermittierende Belastung vgl. S. 27.

gefährlicher Überlastung eintreten soll, und ferner müssen sie und die Vorrichtungen, welche die Schmelzstreifen aufnehmen, auch so beschaffen sein, dass Personen durch Splitter und flüssiges Metall u. s. w. beim Durchschmelzen nicht beschädigt werden können.

351. Ersatz der Sicherungen durch Automaten.

In solchen Stromkreisen, in denen häufig eine bedeutende und dabei länger anhaltende Erhöhung der Stromstärke auftritt, bei denen also die Schmelzstreifen sehr häufig in Thätigkeit treten würden und somit durch das wiederholte Einsetzen neuer Schmelzstreifen Zeit verloren ginge, werden anstatt der Sicherungen automatische Ausschalter angeordnet, die bei einer bestimmten Strombelastung den Stromkreis automatisch unterbrechen, ohne grösseren Zeitverlust aber wieder geschlossen werden können.

352. Automatische Einsetzvorrichtungen.

Um Zeit und Bedienungspersonal zu ersparen, ist auch der Versuch gemacht worden, Vorrichtungen zu konstruieren und zu verwenden, welche einen Schmelzstreifen automatisch einsetzen, wenn der eingesetzte durchgeschmolzen ist.

In der Patentschrift No. 144052 ist eine Vorrichtung zum selbstthätigen Einsetzen neuer Schmelzsicherungen auf elektromagnetischem Wege beschrieben, welche eine Anzahl Schmelzstreifen in einem Kasten übereinandergelegt vereinigt, von denen die vordere nach Erfordernis selbstthätig durch einen Schlitz des Kastens nach der Gebrauchsstelle vorgeschoben wird. Die Führung vom Kastenschlitz bis zur Gebrauchsstelle lässt nur eine Schmelzsicherung durch und hält die nächste zurück, bis sie durch Schmelzen der in den Stromkreis eingeschalteten Sicherung ebenfalls ausgelöst wird.

Eine ähnliche Vorrichtung ist in der amerikanischen Patentschrift No. 527501 beschrieben.

Derartige Vorrichtungen haben aber keine praktische Bedeutung. Sie könnten auch nur unter Verkennung des eigentlichen Zweckes der Sicherungen verwendet werden. Die Schmelzsicherung hat ja gerade die Aufgabe, einen Stromkreis automatisch abzuschalten, wenn in ihm irgend etwas nicht ganz in Ordnung ist; dieser Zweck wird aber illusorisch, wenn durch den nachfolgenden Schmelzstreifen der Stromkreis immer wieder geschlossen wird. Hierdurch können ganz bedeutende Gefahren an der Fehlerstelle auftreten, ganz abgesehen davon, dass die im Magazin aufbewahrten Schmelzstreifen samt und sonders nacheinander durchgeschmolzen werden können, wenn ein Kurzschluss besteht.

Schmilzt eine Sicherung durch, so setzt man wohl eine weitere ein, wenn diese aber auch abschmilzt, muss nach der Ursache geforscht werden.

Schmelzeinsätze.

353. Funktionieren der Sicherungen.

Vor wenigen Jahren noch war aber ein vollständig einwandsfreies Funktionieren der Sicherungen nicht ohne weiteres verbürgt. Die vorhandenen Konstruktionen waren zumeist so beschaffen und die allgemeine Anschauung über die Bedienung der Sicherungen war derart, dass ganz nach Belieben stärkere Schmelzstreifen eingesetzt werden konnten, deren Bemessung dem Gutdünken des Monteurs oder Wärters anheim gegeben war. Als Hauptmängel müssen ferner bezeichnet werden die häufig viel zu geringen Abstände der verschiedenen Pole voneinander und von solchen Teilen, die mit der Erde in mehr oder weniger guter Verbindung stehen und zu gering dimensionierte Leiterteile im Sicherungselement selbst, welche, sich erwärmend, den Schmelz-

einsatz stark erhitzten. Es war daher kein Wunder, dass FELDMANN einen Vortrag[1]) über Bleisicherungen auf der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker im Jahre 1894 mit den Worten beginnen konnte:

„Seitdem ich dieses Thema in Vorschlag gebracht habe, bin ich über meine eigene Kühnheit erstaunt gewesen, denn Bleisicherungen gehören eingestandenermassen zu denjenigen Stiefkindern der Installationstechnik, von denen man nicht gern spricht.“

Heute ist dem nicht mehr so. Nachdem im Jahre 1896 die Sicherheitsvorschriften vom Verband Deutscher Elektrotechniker ausgearbeitet wurden, waren dem Konstrukteur die Wege gewiesen und es entstanden bald Sicherungssysteme, welche allen an eine Sicherung überhaupt zu stellenden Anforderungen gerecht werden, so dass das moderne Sicherungsmaterial zum grössten Teil als mustergültig angesehen werden kann.

354. Abschmelzstrom.

In erster Linie wird von einer Sicherung gefordert, dass ihre Abschmelzstromstärke die doppelte ihrer Normalstromstärke sein muss. Ohne weiteres lässt sich aber diese Bedingung nicht erfüllen, da das Verhalten der Sicherungen nicht nur vom Material und von der Grösse der Anschlussstücke, sondern auch von den die Schmelzeinsätze umgebenden Stoffen, als Schutzkästen u. s. w. abhängt,[2]) dagegen fällt die Temperatur der umgebenden Luft nahezu gar nicht ins Gewicht, wenn es sich nicht gerade um ganz aussergewöhnlich hohe Grade handeln sollte.[3])

355. Einfluss der Anschlusskontakte.

Ganz wesentlich ist der Einfluss der Grösse der Anschlusskontakte und der hierdurch bedingten mehr oder weniger grossen Wärmeableitungsfähigkeit. Aus diesem Grunde schmelzen die Drähte selten am Kontakt, sondern in der Mitte zwischen beiden. Liegt die Schmelzstelle aber sehr nahe an der Klemme, so ist wahrscheinlich, dass diese selbst durch mangelhaften Kontakt so erwärmt wurde, dass sie den Draht auf die Schmelztemperatur brachte. Dies kommt hauptsächlich dann vor, wenn der Leitungsanschluss oder auch die Verbindung zwischen dem einzelnen Schmelzstück und den im Element untergebrachten Leiterteilen schlecht ausgeführt wurde und daher erhebliche Übergangswiderstände auftraten.

356. Länge des Schmelzdrahtes.

Die Länge des Schmelzdrahtes ist durch die Spannung bedingt; allzulange Schmelzstreifen können indessen aus praktischen Gründen nicht gut Verwendung finden.

HERZOG & FELDMANN veröffentlichten[4]) 1892 Untersuchungen über den Einfluss von Drahtlänge und Klemmen, welche mit zwei Klemmenpaaren von 40 g bezw. 350 g Gewicht einschliesslich Schraube vorgenommen waren. Die Resultate ergeben die Kurven Fig. 244. Die Verfasser schrieben hierzu: „Die Abscissen der Kurven bedeuten die Drahtlängen, die Ordinaten die Abschmelzstromstärken. Die beobachteten Werte stimmen sehr gut mit den Werten überein, welche aus der empirischen Formel:

$$J^2 \sqrt{i} = a d^3$$

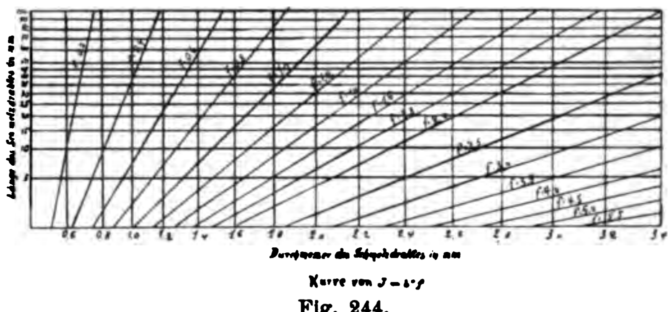
berechnet wurden, wobei der Faktor a bei Verwendung einer Blei-Wismut-Legierung und für die grossen Klemmen im Mittel $a = 1350$, für die kleinen Klemmen im Mittel $a = 1000$ betrug.

1) ETZ 1894, Heft 23.

2) Dr. C. L. WEBER, Erläuterungen zu den Sicherheitsvorschriften 1902, S. 49.

3) C. HOHENEGG, Anordnung und Bemessung elektrischer Leitungen 1893, S. 16.

4) HERZOG & FELDMANN, Elektrische Leitungsnetze 1892.



Kurve von $J = b \cdot f$

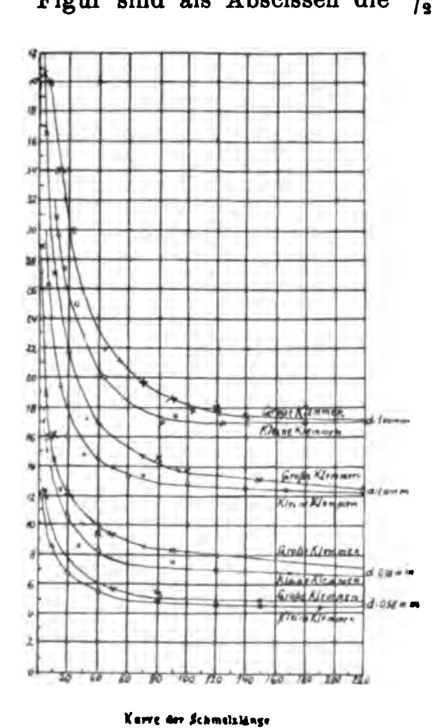
Fig. 244.

Die Kurven der Fig. 244 veranschaulichen deutlich den abkühlenden Einfluss der Klemmen und zeigen, dass die Abschmelzstromstärke mit abnehmender Länge wächst und bei gleicher Länge des Schmelzdrahtes höher liegt, wenn die grösseren Klemmen zur Anwendung gelangen.

Das soeben angeführte Gesetz, welches die Abhängigkeit des Schmelzstromes von der Länge des Schmelzdrahtes darstellt, ist wegen der darin enthaltenen gebrochenen Potenzen nicht besonders bequem in der Anwendung. Wir haben deshalb die Beziehung

$$J = b \frac{\sqrt{d^3}}{\sqrt[4]{e}}; \qquad (b = \sqrt{a})$$

in die Form $J = b \cdot f$ gebracht und den Wert von f für verschiedene Längen l und Durchmesser d graphisch in Fig. 245 dargestellt. In dieser Figur sind als Abscissen die $^3/_2$ Potenzen von d, als Ordinaten die $\sqrt[4]{e}$ aufgetragen und so die schräg laufenden Geraden f erhalten worden. Die Benutzung dieser Tabellen bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung. Fassen wir die Gleichung ins Auge, so erkennen wir, dass der Schmelzstrom für einen Draht von bestimmtem Material und Durchmesser und von gegebener Länge als das Produkt zweier Grössen erscheint, deren erste jener Strom b ist, welcher unter den gegebenen Verhältnissen einen Draht von der Einheit der Länge und des Durchmessers zu schmelzen vermag. Die zweite dieser Grössen, f, ist eine Funktion der Drahtlänge und des Drahtdurchmessers, hängt aber im Gegensatz zur Grösse b von der Form und Beschaffenheit der Klemme und dem Material des Schmelzdrahtes nicht ab. Der Strom b kann dadurch ermittelt werden, dass irgend ein Draht, dessen Konstante f der graphischen Tabelle Fig. 244 entnommen wurde, zum Schmelzen gebracht wird. Jedenfalls ist es aber zur Ermittlung des Schmelzstromes b unbedingt erforderlich, dass die



Kurve der Schmelzlänge

Fig. 245.

Sicherung unter genau denselben Bedingungen geprüft wird, unter welchen dieselbe zu arbeiten hat.

Es müssen deshalb die thatsächlich zu verwendenden Klemmen auf ihrer schliesslichen Unterlage im richtigen Abstande befestigt und zum Zwecke des Versuchs unter der später zur Verwendung gelangenden Schutzkappe abgeschmolzen werden; denn auch die Hinzufügung oder Weglassung dieser letzteren kann die Resultate durch Veränderung der Konvektion beeinflussen."

Abhängigkeit der Abschmelzzeit von der Erwärmung.

357. Erwärmung des Schmelzeinsatzes.

Nach dem JOULEschen Gesetz beträgt die erzeugte Wärmemenge

$$W = 0{\cdot}240\, J^2 w t \text{ in Grammkalorien}$$

und es würde hiernach nach irgend einer Zeit eine solche Erhitzung jeden Materials eintreten, dass es schmilzt, wenn nicht auch eine ausreichende Wärmeabfuhr (Wärmeableitung und Wärmestrahlung) stattfände. Diese ist nun, wie bereits vorher gesagt, von der Grösse der Kontakte und ihrem Umfang abhängig, ebenso sind die gleichen Gesichtspunkte massgebend, welche bei Besprechung der Erwärmung der Leitungen [1]) erwähnt wurden. Diese Faktoren werden in Form einer Konstante C in die Rechnung eingeführt, deren Wert empirisch bestimmt wird.

Beträgt nun die Temperaturzunahme eines Leiters t^1, sein Umfang u und seine Länge l, so wird Gleichgewicht eintreten, wenn die Beziehung besteht:

$$0{\cdot}240\, J^2 w = C t^1 u l.$$

Da

$$w = \frac{l s}{q},$$

so ist

$$0{\cdot}240\, J^2 \frac{l s}{q} = C t^1 u l$$

und es wird

$$t^1 = \frac{0{\cdot}24}{c} \frac{J^2 s}{q u} = C^1 \frac{J^2 s}{q u} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)\,^{2)}$$

Temperaturdifferenz in Celsiusgraden gegen die Umgebung. Hieraus ist ersichtlich, dass die Länge des Leiters ohne Einfluss ist.

Während Formel 30 für jeden Querschnitt gilt, wird für den runden gesetzt $t^1 = C^1 \frac{J^2 s}{a^3}$, wenn a der Durchmesser des verwendeten Drahtes ist.

Der Wert der Konstante liegt zwischen 10—20, wird aber auch niedriger angegeben (vgl. S. 323).

358. Abschmelzstrom und Abschmelzdauer.

Nach den Verbandsvorschriften [3]) ist die allgemeine Bedingung, dass die Sicherungen bei der doppelten Stromstärke den Stromkreis unterbrechen, jedoch ist für Schmelzeinsätze über 50 Amp. die Zeit, in welcher dieses geschehen soll, nicht vorgeschrieben, so dass je nach den Bedürfnissen die Schmelzstreifen bemessen werden können. Bei starken Kurzschlüssen werden sie sicher immer in kürzester Zeit in Funktion treten, da hierbei die normale

---

1) Hdb. VI, 1, S. 21.

2) GRAWINKEL & STRECKER, S. 56.

3) § 14 der Sicherheitsvorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen.

Stromstärke mehrfach überschritten wird, dagegen werden sie zeitweise Überlastungen aushalten können und das ist besonders bei Kraftübertragungsanlagen wichtig, wo häufig kurze, nur nach Sekunden bemessene Überlastungen eintreten, die aber als betriebsmässige Erscheinungen zu betrachten sind.

Für Schmelzsicherungen bis 50 Amp. Normalstromstärke sind die Grenzen enger gezogen, und es wird von denselben nicht nur verlangt, dass sie bei

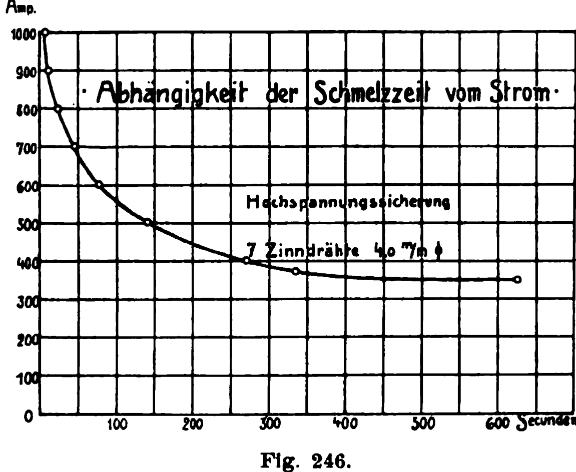


Fig. 246.

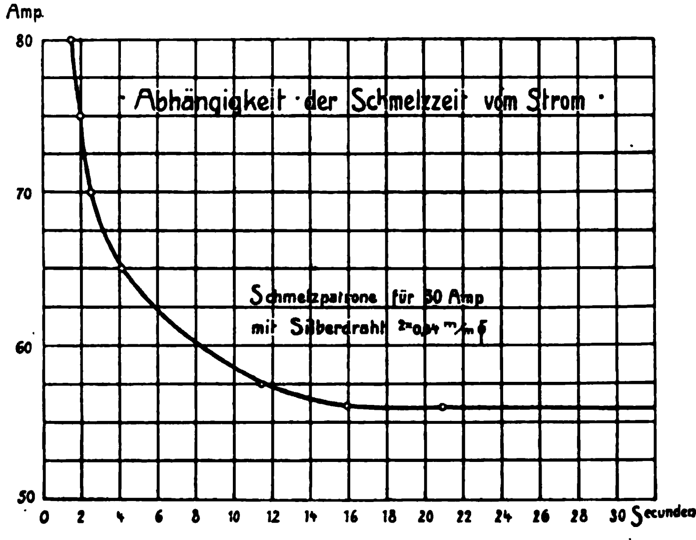


Fig. 247.

der doppelten Stromstärke, wenn sie vom kalten Zustande aus plötzlich belastet werden, innerhalb zwei Minuten abschmelzen, sondern sie müssen auch den $1^1/_4$ fachen Strom dauernd tragen können. Durch diese Vorschriften wird für die grosse Menge der Sicherungen, insbesondere der für Hausinstallationen bestimmten, eine Gleichmässigkeit aller Fabrikate verlangt, die früher sehr vermisst wurde, denn es war trotz bestimmter Aufschriften auf den Einsätzen keineswegs bestimmt, bei welcher Stromstärke dieselben

durchschmelzen würden, wozu in erster Linie die Veränderlichkeit des Schmelzmaterials beitrug.

Den vorstehend erwähnten Bedingungen genügen die meisten heute im Handel befindlichen Schmelzeinsätze und zeigt Fig. 246 eine Kurve, aus der zu ersehen, in welchen Zeiten eine 30 Amp.-Patrone bei bestimmten Stromstärken abschmilzt. Es ist hieraus zu erkennen, dass die Patrone imstande ist, den $1^1/_2$ fachen Strom dauernd zu tragen und bei der doppelten Stromstärke innerhalb zwei Minuten durchschmilzt. Die thatsächliche Zeit beträgt nur acht Sekunden.

Fig. 247 zeigt die gleiche Kurve einer Hochspannungssicherung.

Für die über 50 Amp. liegenden Einsätze wäre die Innehaltung der obigen Abschmelzzeiten nicht weniger wünschenswert, indessen ist die Erfüllung für diese wesentlich schwieriger und daher in der Praxis noch nicht üblich.

Schmelzeinsätze aus verschiedenen Metallen.

350. Dimensionierung von Sicherungen aus Blei.

Für die früher allgemein üblichen Bleidrähte giebt Hohenegg[1] einige Formeln für die Dimensionierung der Schmelzstreifen aus reinem Blei von 50 bis 70 mm Länge, und zwar geben die mit dem Index a versehenen die Dimensionen an, welche in freier Luft, die mit dem Index b die derjenigen Einsätze, welche in Schutzgehäusen eingeschlossen sind, und zwar ist, wenn mit d der Bleidrahtdurchmesser, mit c die Dicke und mit b die Breite von Bleistreifen bezeichnet wird:

$$d_a = \sqrt[\frac{3}{2}]{\frac{J}{11}}; \quad d_b = \sqrt[\frac{3}{2}]{\frac{J}{1{\cdot}57}}$$

$$b_a = -\frac{c}{2} + \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{J^2}{100\,c}}$$

$$b_b = -\frac{c}{2} + \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{J^2}{200\,c}}$$

Aus den folgenden Werten, die nach diesen Formeln berechnet sind, ist der Einfluss der Umgebung der Schmelzstreifen ziffernmässig zu ersehen.

Tabelle No. 86.

Abschmelzstromstärke in Amp.	Bleidrahtdurchmesser in mm		Bleistreifenbreite bei verschiedenen Blechdicken, c in mm							
			$c = 1/2$		$c = 1$		$c = 1^1/_2$		$c = 2$	
J	d_a	d_b	b_a	b_b	b_a	b_b	b_a	b_b	b_a	b_b
10	0·9	0·7	1·2	0·8	0·6	0·7				
20	1·5	1·2	2·6	1·8	1·6	1·0	1·0	0·6		
30	2·0	1·5	4·0	2·8	2·5	1·7	1·8	1·1	1·3	0·8
40	2·4	1·9	5·4	3·8	3·4	2.4	2·6	1·7	2·0	1·2
50	2·7	2·2	6·8	4·8	4·5	3·1	3·4	2·2	2·7	1·7
100	4·4	3·4	13·9	9·8	9·5	6·6	7·5	5·1	6·1	4·1
500	12·7	10·0	70·4	49·8	49·5	34·9	40·2	28·1	34·4	24·0
1000	20·2	16·0	141·2	99 8	99·5	70·2	81·1	57·0	69·7	49·0

[1] El. Engineer, New York 10, No. 6.

360. Verhalten des Bleies. Bei der Verwendung von Schmelzstreifen aus Blei stellten sich jedoch Übelstände heraus, die die Wahl eines anderen sicherer wirkenden Materials dringend erforderten.

Die Bleistreifen überziehen sich unter der Einwirkung der Luft mit Bleioxyd, welches schwer leitet und schwerer schmelzbar ist als Blei, so dass die Streifen nicht gleichmässig schmelzen, sondern zuerst im inneren noch nicht oxydierten Kern. Die äussere Schicht bleibt bisweilen als schwer leitende Röhre bestehen, welche den Strom weiterleitet und sich unter seiner Einwirkung bis zur Rotglut erhitzt.[1]) Erst wenn sich das flüssige Blei im Innern, an der tiefsten Stelle sammelt und sich die aus der Oxydschicht gebildete Röhre dann durchbiegt, wird der Schmelzeinsatz vollständig zerstört.

Bei Sicherungen, deren Schmelzdraht, wie früher üblich, in Glasröhren eingeschlossen ist, setzt sich dann ein Teil des verflüchtigten Bleioxydes an der Röhre fest und bildet eine noch genügend leitende Brücke, um den Lichtbogen zu erhalten; derselbe erlischt in solchen Fällen erst dann, wenn die Glasröhre zersprungen ist. Aus dem gleichen Grunde ist auch die Umhüllung der Niederspannungssicherungen mit Glasröhren aufgegeben worden.

Auf die Oxydation des Bleies wird es zurückgeführt, dass derartige Schmelzstreifen nach einiger Zeit etwa die dreifache Stromstärke auszuhalten vermögen wie anfangs.[2])

361. Schmelzeinsätze aus Zinn. Um diese Übelstände auszumerzen, wurden andere Materialien gewählt, zum Teil auch Bleilegierungen angewendet, deren Schmelzpunkt erheblich niedriger liegt als der des Bleies.[3]) Zuverlässig wirken Schmelzeinsätze aus Zinn, welches an der Luft nahezu gar nicht oxydiert und dessen Reinheit auch durch das beim Biegen auftretende Zinngeschrei leicht erkannt werden kann.

362. Schmelzeinsätze aus Blei, Zinn, Legierung. Für eine Legierung von drei Teilen Blei und zwei Teilen Zinn (Schmelzpunkt 172°) giebt Erlacher[4]) in Tabelle No. 87 die Dimensionen für Schmelzeinsätze, nachdem er durch Versuche für diese Legierung eine Materialkonstante von $k = 6{\cdot}3$[5]) gefunden hatte.

363. Schmelzeinsätze aus Silber. Bei dem Versuch für Schmelzstreifen ein Material zu finden, welches den weitestgehenden Anforderungen genügt, welches besser leitet und schwerer schmelzbar ist als die Bleilegierungen und auch beim explosiblen Verbrennen keine derart grossen Gasmassen erzeugt, die dem Strom immer noch eine leitende Brücke bieten und hierdurch das Erlöschen des Lichtbogens erschweren, wurde auch Silber verwendet und hierin eines der geeignetsten Materialien gefunden, so dass es sehr viel und namentlich für Installationssicherungen verwendet wird. Allerdings sind die Kosten wesentlich höher, da das Kilogramm etwa 100 Mk. kostet. Die Schmelzdrähte aus Silber

1) ETZ 1894, Heft 23.

2) El. Review, London 1888, S. 125.

3) Es sind Legierungen verwendet worden, deren Schmelzpunkt unter 100° lag (Zink und Wismut).

4) Erlacher, Elektrische Apparate für Starkstrom, Hannover 1903, S. 71.

5) Hier ist Formel 30 wie folgt vereinfacht:

$$t' = C' \frac{J^2 s}{q u},$$

woraus sich ergiebt

$$J = k \sqrt{u q}, \text{ wenn } k = \sqrt{\frac{t'}{C' s}}.$$

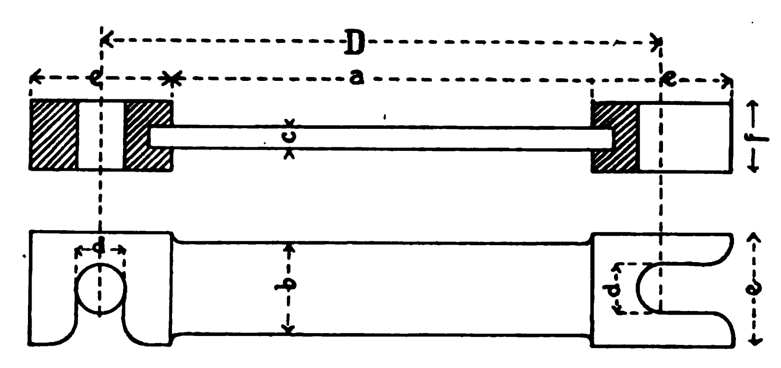


Fig. 248.

Tabelle No. 87.

Amp.	Abschmelzstrom $6{\cdot}8\sqrt{qu}$	a	b	c	d	d'	D	e	f	Amp./mm²
30	58·5			0·5	10	10				6·7
40	75·0	52	9	0·8	6	10	70	18	3	5·5
50	93·5			1·2	6	6				4·6
60	122·0			1·2	12	12				4·1
80	163·0	56	12	2·0	8	12	80	24	4	3·3
100	207·0			3·0	8	8				2·8
130	260·0			1·4	15	15				3·9
165	332·0	65	24	2·2	10	15	95	30	5	3·1
200	393·0			3·0	10	10				2·8
250	490·0	74	36	2·2	22	22				3·1
350	680·0		36	4·0	16	22	110	36	8	2·4

schmelzen bedeutend schneller ab als Bleidrähte, und wenn man bei Schmelzversuchen Sicherungen aus beiden Materialien, für genau die gleichen Stromstärken bestimmt, hintereinander schaltet, so wird in den meisten Fällen der Streifen aus Blei stehen bleiben, während der aus Silber rasch und sicher den Stromkreis unterbricht.[1]) Dieses schnelle Funktionieren bringt es auch mit sich, dass in einem Stromkreis, in welchem Kurzschlüsse auftreten, nur die thatsächlich betroffenen Sicherungen durchschmelzen, während bei dem früher üblichen Schmelzmaterial nicht nur die im betroffenen Abzweig liegende, sondern auch alle in der Hauptleitung vorgeschalteten wesentlich stärkeren bis zum Hausanschluss bezw. der Maschinenstation in Thätigkeit traten. Es ist also durch die Wahl eines einwandsfreien und sicher wirkenden Schmelzmaterials nicht nur eine Gewähr für die Feuersicherheit einer Anlage gegeben, sondern auch eine Erhöhung der Betriebssicherheit die Folge.

364. Spannungsverlust in Schmelzsicherungen.

Von der Wahl des Schmelzmaterials hängt auch der in der Sicherung auftretende Spannungsabfall ab. Dass derselbe nicht vernachlässigt werden kann, zeigen Messungen, welche Heim an einer grösseren Anzahl von Schmelzeinsätzen vorgenommen hat,[2]) wobei die Sicherungen der normalen Stromstärke ausgesetzt wurden.

---

1) ETZ 1898, S. 494.
2) Heim, Elektrische Beleuchtungsanlagen 1903, S. 319.

Tabelle No. 88.

Ältere Bleisicherungen für Spannungen von 100 Volt.

Normalstrom. Ampere . . .	4·5	7·5	12	15	25	32	50	66	86	108	172
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt . .	0·058	0·061	0·064	0·076	0·078	0·084	0·086	0·070	0·079	0·118	0·140

Neuere Sicherungen nach den Vorschriften des V. D. E.

a) Bleistreifen für 110 Volt.

Normalstrom. Ampere	30	60	100
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt	0.051	0·057	0·061

b) Patronen mit Schmelzeinsätzen aus Silber von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

Kleine Sicherungsstöpsel für Spannungen bis 250 Volt.

Normalstrom. Ampere	0·5	1	2	4	6
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt	0·12	0·12	0·45	0·12	0·10

Normale Sicherungsstöpsel für Spannungen bis 550 Volt.

Normalstrom. Ampere	2	4	6	15	20
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt	0·48	0·36	0·26	0·19	0·15

Grosse Sicherungsstöpsel für 550 Volt.

Normalstrom. Ampere	30	60
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt	0·25	0·13

c) Patronen mit Schmelzstücken aus Silber von Siemens & Halske für Spannungen bis 250 Volt.

Normalstrom. Ampere	4	6	15	30	40
Spannungsverlust für ein Schmelzstück. Volt	0·42	0·17	0·15	0·16	0·19

„Hiernach beträgt,“ schreibt Heim, „der Spannungsverlust bei den neueren Sicherungen für Verteilungsleitungen (Stromstärke bis ca. 40 Amp.) und für Spannungen bis 250 Volt nicht unter 0·1 Volt, durchschnittlich sogar etwa 0·2 Volt, wenn man berücksichtigt, dass die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft ihre sogen. normalen Sicherungen, welche für Spannungen bis 550 Volt ausreichen, auch in Anlagen für 250 Volt und darunter verwendet. Durch das Bestreben, die Schmelzpatronen so zu gestalten, dass sie beim Durchschmelzen selbst bei mehr als 200 Volt Betriebsspannung und unter Kurzschluss keinen dauernd brennenden Lichtbogen ergeben, hat man also ihren Widerstand und den dadurch bedingten Spannungsverlust

gegen früher beträchtlich erhöht. In Anlagen von 110 Volt Betriebsspannung werden heutzutage ganz allgemein die nämlichen Sicherungen benutzt, welche auch für 250 Volt genügen. Setzt man nun eine 110 Volt-Anlage voraus, in welcher der Strom von der Schalttafel bis zu einer bestimmten Glühlampe oder Lampengruppe drei zweipolige Sicherungen passiert, und rechnet pro Schmelzstück nur 0·15 Volt, so beträgt der Spannungsverlust in den Sicherungen $3 \times 2 \times 0{\cdot}15 = 0{\cdot}90$ Volt. Ein solcher Betrag darf aber nicht, wie es zumeist geschieht, bei Berechnung der Leitungen vernachlässigt werden, selbst dann nicht, wenn nur zwei Sicherungen zwischen Schalttafel und Lampe liegen."

Prüfungsvorschriften für Sicherungen.

365. Isolations- und Spannungsprüfung.

Da besondere Bedingungen für das Funktionieren der Schmelzeinsätze gegeben waren, ist es auch erforderlich gewesen, Prüfungsvorschriften zu erlassen, welche der Verband Deutscher Elektrotechniker herausgegeben hat. Sie beziehen sich aber nur auf Stöpselsicherungen bis 60 Amp.

Die Prüfung zerfällt in zwei Teile:

1. Es muss festgestellt werden, ob Material und Konstruktion den Sicherheitsvorschriften entsprechen und
2. eine experimentelle Untersuchung.

366. Stromprüfung.

Bezüglich der letzteren seien die in Frage kommenden Paragraphen der Prüfungsvorschriften [1]) angezogen:

§ 28. „Die Sicherung muss bei eingesetztem Stöpsel gegen die Befestigungsschrauben und gegen die der Berührung zugänglichen Metallteile am Sockel und Stöpsel, ferner nach herausgenommenem Stöpsel zwischen den Kontakten eine Spannung von 1000 Volt Wechselstrom über die Betriebsspannung fünf Minuten lang aushalten."

Für Sicherungen bis zu 30 Amp. ist es ausserdem erforderlich, dass sie auch bei einer um 10 % erhöhten Betriebsspannung sicher funktionieren, und zwar gilt dies nur bis zu dieser Stromstärke, da auch diese Bedingung für höhere Ströme nicht allgemein erfüllbar scheint. Es giebt aber thatsächlich schon jetzt Sicherungssysteme, deren Einsätze diese Bedingungen auch für Ströme bis 60 Amp. und sogar darüber hinaus erfüllen und hat hierzu nicht am wenigsten die Verwendung von Silber als Material für den Schmelzdraht beigetragen, welcher ausserdem noch in ein schwer schmelzbares Material (Talkum, Schmirgel) eingebettet wird. [2])

367. Prüfeinrichtung.

§ 29. „Die Sicherungen sind hinsichtlich ihres Funktionierens mit Gleichstrom zu prüfen. Als Stromquelle dient entweder eine Dynamomaschine oder eine Batterie, oder beides. Von der Stromquelle führen zwei Leitungen zu den Anschlusspunkten der Sicherungen. In diese Leitungen ist einzusetzen ein Schalter und ein regulierbarer Widerstand, der kurz geschlossen werden kann. Die Sicherung wird jenseits des Schalters und des regulierbaren Widerstandes als Kurzschluss zu den Leitungen angeordnet. Die Spannung zwischen den Anschlussklemmen des offenen Schalters muss um 10 % höher sein, als die normale Betriebsspannung, für

1) Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial; veröffentlicht ETZ 1903, S. 683.

2) Näheres siehe S. 336 dieses Bandes.

welche die Sicherung bestimmt ist. Sicherungen sind zu prüfen, sowohl bei plötzlichem Kurzschluss, als auch bei allmählich anwachsendem Strom.

§ 31. „Für die Prüfung bei allmählich ansteigendem Strom gelten folgende Vorschriften. Der in § 30 erwähnte Widerstand wird entfernt und der in § 29 erwähnte Widerstand wird benutzt zur Regulierung der Stromstärke.“ [1])

368. Die Grösse der zur Prüfung erforderlichen Stromquelle. Das Verhalten der Sicherungen ist nun ganz wesentlich verschieden, je nach dem in dem Prüfungsstromkreis liegenden Widerstand, nach der Art der Stromquelle und insbesondere, ob diese grossen inneren Widerstand besitzt. So kann eine Sicherung, welche in der Hausinstallation, womöglich weit ab von der Zentrale oder im Anschluss an eine kleine Dynamo von wenigen KW, selbst bei Kurzschluss sehr gut ihre Schuldigkeit thut, explosiv auseinanderspringen, wenn sie unmittelbar hinter einer grossen Akkumulatorenbatterie zur Prüfung eingeschaltet wird. Aus diesem Grunde ist es, um überhaupt eine Grundlage für die Prüfungen zu erhalten, in erster Linie erforderlich, die Grösse der Stromquelle zu bestimmen, die für die Prüfung von Sicherungen bei Kurzschluss mindestens verlangt werden muss. Dieselbe ist festgelegt wie folgt: [2])

§ 30. „Die Leistungsfähigkeit der Stromquelle und der Widerstand der Zuleitungen sind so zu bemessen, dass im Augenblick des Abschmelzens der Sicherung der gesamte Spannungsabfall von Stromquelle und Zuleitungen 1 $^0/_0$ nicht übersteigt. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn unter Ersatz der Sicherung durch einen regulierbaren Widerstand der durch ihn fliessende Strom das 20fache des normalen Betriebsstromes der Sicherung, mindestens aber 400 Amp. und gleichzeitig die Spannung an den Anschlussklemmen dieses Widerstandes nicht kleiner ist, als die normale Betriebsspannung, für welche die Sicherung bestimmt ist.

Sind Stromquelle und Leitungen den hier angegebenen Bedingungen entsprechend bemessen, so wird der Schalter geöffnet, der zweite Widerstand entfernt und an seine Stelle die Sicherung eingesetzt. Bei Schluss des Schalters muss diese abschmelzen, ohne einen dauernden Lichtbogen zu erzeugen und ohne gefährliche Explosionserscheinungen hervorzurufen.“

Indessen ist bei der Einrichtung der Prüfanordnung doch darauf zu achten, dass der Kurzschlussstrom recht beträchtlich werden und falls die zu prüfende Sicherung zusammenschmelzen sollte, nicht nur die Zuführungsleitungen, sondern event. auch die Stromquelle gefährdet werden kann. Es ist daher dringend zu empfehlen ausser der zu prüfenden noch eine andere Sicherung einzuschalten, von deren Zuverlässigkeit man überzeugt ist.

Es ist einleuchtend, dass die so geprüften Installationssicherungen an dem Orte ihrer Verwendbarkeit sicher funktionieren müssen, weil an diesen Stellen Kurzschlüsse meistens nicht so intensiv auftreten werden, als unmittelbar an den Stromquellen selbst, da der Kurzschlussstrom immer mehr oder weniger durch die Länge der eingeschalteten Verteilungsleitungen von geringerem Querschnitt gedämpft wird.

Einen grossen Einfluss auf das Funktionieren der Sicherungen übt auch das Auftreten von Selbstinduktion aus, doch ist es schwer, den hierdurch bedingten Umständen gerecht zu werden.

---

1) Näheres siehe: Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial. ETZ 1903, S. 683. Kapp, Normalien, Vorschriften und Leitsätze, Berlin 1904, S. 14.

2) ETZ 1902, S. 417.

Konstruktion der Sicherungen.

369. Kontaktstücke.

Die früher üblichen Sicherungskonstruktionen bestanden in der Regel aus zwei Metallbacken, auf welche die Bleistreifen aufgeschraubt wurden. Das weiche, plastische Metall wurde beim Anschrauben zerpresst, so dass häufig an diesen Stellen erhebliche Übergangswiderstände auftraten und ausserdem durch die Oxydation des Bleies der Kontakt zum Teil aufgehoben wurde. Unter diesen Umständen war mit einem zuverlässigen Arbeiten der Sicherungen nicht zu rechnen, die Stromstärke konnte einen mehrfachen Betrag der normalen erreichen, ehe der Schmelzstreifen den Stromkreis unterbrach, oder er wurde bereits bei einer Stromstärke vernichtet, die wesentlich unter der normalen lag. In dem einen Fall ist aber die Feuersicherheit nicht verbürgt, im anderen die Betriebssicherheit gefährdet.

Infolgedessen werden bei allen Schmelzeinsätzen die weichen, plastischen Metalle in besondere Kontaktbacken eingesetzt, die den von den Kontaktvorrichtungen ausgehenden Druck aufnehmen.

370. Unverwechselbarkeit.[1])

Die Bedienung elektrischer Anlagen, insbesondere der mit Niederspannung arbeitenden Hausinstallationen, unterliegt in den meisten, oder doch wenigstens sehr vielen Fällen, solchem Personal, welches nur notdürftig unterrichtet ist und der elektrischen Anlage wenig Verständnis entgegenbringt. Schmilzt in derart schlecht bedienten Installationen eine Sicherung häufig durch, so wird nur in den seltensten Fällen der Fehler aufgesucht, sondern es wird eine stärkere Sicherung eingesetzt, die, wenn sie nicht genügt, durch eine noch stärkere ersetzt wird. Diese Handlungsweise bedingt die grösste Gefahr für die Anlage und eventuell die betreffenden Baulichkeiten, so dass ihr scharf entgegengetreten werden muss.

Man wird nun bei unzuverlässigem Personal durch keine Vorsichtsmassregel das absichtliche Einsetzen stärkerer Sicherungen verhindern können; um indessen wenigstens eine irrtümliche fahrlässige Einbringung zu starker Schmelzeinsätze zu vermeiden, ist die Unverwechselbarkeit der Sicherungen vorgesehen.

Das unverwechselbare Sicherungselement kann entweder so beschaffen sein, dass das Einsetzen von Schmelzeinsätzen für zu hohe und zu niedrige Stromstärken, dann aber auch für zu hohe und zu niedere Spannungen nicht möglich ist.

Das Wichtigste ist nun zunächst in erster Linie, dass Schmelzeinsätze für zu hohe Stromstärken nicht eingesetzt werden können, da sonst die Gefahr einer Überlastung der Leitungen besteht. Das Einsetzen zu schwacher Sicherungen kann eine Feuersgefahr für die Anlage nicht herbeiführen, es könnte höchstens der Fall eintreten, dass der Stromkreis früher unterbrochen wird, als dies bei dem normalen Einsatz der Fall gewesen wäre. In manchen Fällen könnte wohl auch die Unverwechselbarkeit in der Stromstärke nach unten erwünscht sein, wenn an die Betriebssicherheit einer Anlage (Theater, grosse Versammlungsräume u.s.w.) besondere Anforderungen gestellt werden. Indessen sind diese Gründe nicht zwingend genug, um allgemein diese weitgehende Unverwechselbarkeit zu fordern, man begnügt sich vielmehr damit, zu verhindern, dass zu starke Schmelzeinsätze eingesetzt werden.

---

1) Vgl. WEBER, Erläuterungen zu den Sicherheitsvorschriften.

So wünschenswert diese Forderung aber auch für alle Sicherungen ist, so schwierig ist die praktische Lösung und es wird die Durchführung daher auch nur für Sicherungen von 6 bis 30 Amp. verlangt.[1]) Es ist also eine minimale und eine maximale Grenze gegeben. Unter 6 Amp. ist eine Unverwechselbarkeit nicht Bedingung, da es ja gestattet ist, mehrere Verteilungsleitungen an eine Sicherung von 6 Amp. zu legen und durch diese der geringste verwendbare Querschnitt von 1 mm^2 gesichert ist. Über 30 Amp. bieten sich grosse konstruktive Schwierigkeiten.

Es sind indessen, wie aus den späteren Beschreibungen von Sicherungen hervorgeht,[2]) viele Konstruktionen so durchgearbeitet, dass die Unverwechselbarkeit schon bei 2 Amp. beginnt und 30 Amp. noch weit überschreitet.[3])

Nun ist der Fall vorgekommen, dass Sicherungselemente beanstandet worden sind, weil es möglich war, in ein solches von, sagen wir 10 Amp. sowohl einen Stöpsel von 10 Amp. der Firma X und einen Stöpsel von 15 Amp. der Firma Y einzuschalten; sie wären nicht unverwechselbar. Das ist natürlich zu weit gegangen, denn unter Unverwechselbarkeit im Sinne der Verbandsvorschriften ist nur zu verstehen, dass die Schmelzeinsätze einer und derselben Firma unter sich unverwechselbar sein müssen.

Aber es findet noch eine weitere Beschränkung der Unverwechselbarkeit statt. Sie ist nur für Niederspannungssicherungen Bedingung. Bei Hochspannungssicherungen treten die durch die hohe Spannung bedingten konstruktiven Schwierigkeiten so scharf in den Vordergrund, dass dagegen die Unverwechselbarkeit fallen gelassen werden muss.

Bezüglich der Unverwechselbarkeit nach Spannung ist das Wichtigste, dass für niedrige Spannung bestimmte Schmelzeinsätze nicht in solche Elemente eingesetzt werden können, welche in Anlagen mit höherer Betriebsspannung angeordnet sind.

Hier könnte beim Durchbrennen der falsch eingesetzten Sicherung ein so starker Lichtbogen auftreten, dass eine explosionsartige Zerstörung des Elementes die Folge sein könnte. Der Verwechslung in diesem Sinne wird zur Zeit nur bei wenigen Sicherungen durch die konstruktive Ausbildung vorgebeugt,[4]) sie wird dadurch wesentlich eingeschränkt, dass auf jedem Schmelzeinsatz ausser der normalen Stromstärke die maximale Spannung vermerkt sein muss, bei welcher der Einsatz noch sicher gefahrlos abschaltet, so dass wenigstens die unbeabsichtigte Verwechslung bei einigermassen aufmerksamer Bedienung vermieden wird.

371. Stichmasse nach dem V. D. E.

Für Streifensicherungen (Niederspannung) hat der Verband Deutscher Elektrotechniker besondere Stichmasse aufgestellt, die in Tabelle No. 89 wiedergegeben sind.[5]) Hierdurch ist auch für Streifensicherungen eine gewisse Unverwechselbarkeit

Tabelle No. 89.

Für Sicherungen bis Amp.	Umfassend die üblichen Stufen			Stichmass von Mitte zu Mitte Bolzen	Von Metall zu Metall bleiben
50	30	40	50	70	52
100	60	80	100	80	56
200	130	165	200	} 95	65
400	260	330	400		
700	500	600	700	110	74

1) Sicherheitsvorschriften § 14 d.
2) Vgl. S. 337, 343 u. 351 dieses Bandes.
3) Über die konstruktive Anordnung siehe S. 337 und folgende.
4) Vgl. S. 343 u. 345 dieses Bandes.
5) Vgl. Masstabelle S. 366.

bedingt, allerdings wird man in den meisten Anlagen konstatieren können, dass die Schmelzeinsätze mit längerem Stichmass etwas gebogen werden, damit sie in die für niedere Stromstärken bestimmten Sockel passen.

372. Schraubendimensionen.

Zum Anschluss für die Schmelzeinsätze und Leitungen an Apparate gelten die folgenden Bolzen-Dimensionen, die, um einheitliche Dimensionen zu erhalten, vom Verband Deutscher Elektrotechniker aufgestellt worden sind.

Tabelle No. 90.

Ampere	50	100	200	400	700	1000
Englische Zoll	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4
Metrisches Gewicht, (sofern dasselbe eingeführt ist oder wird)	6	8	10	12	16	20

Es muss allerdings bemerkt werden, dass in der Praxis vielfach stärkere Bolzen Verwendung finden.

Anbringung von Sicherungen.

373. Einpolige Sicherung.

Alle Leitungen, welche von einer Schalttafel oder Verteilungstafel abzweigen, müssen Sicherungen enthalten. Die anfänglich übliche einpolige Anordnung der Sicherungen (Fig. 249) wurde bald nach ihrer frühesten Anwendung fallen gelassen, da im Falle eines Erdschlusses in dem nicht gesicherten Leiter für diesen gefährlich hohe Ströme auftreten können und andererseits die Gefahr der Verwechslung der beiden Leiter beim Anbringen der Sicherungen so nahe lag, dass bald in dem einen, bald in dem anderen Pol eine

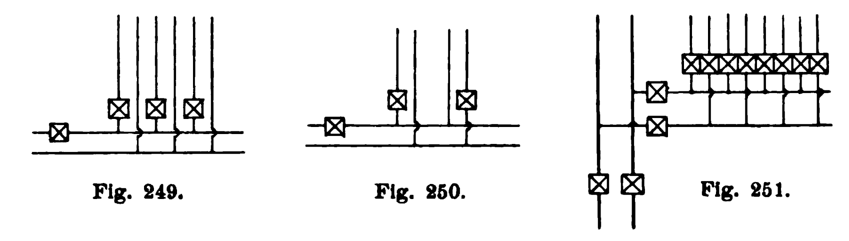


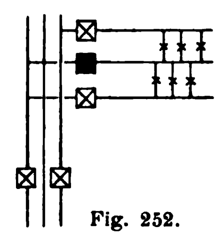
Fig. 249. Fig. 250. Fig. 251.

Sicherung untergebracht wurde (Fig. 250).[1]) Naturgemäss wurde hierdurch der Zweck der Sicherungen illusorisch und man ging dazu über, allpolig zu sichern, und zwar wird die Sicherung am Anfang eines jeden Stromkreises untergebracht (Fig. 251). Eine Ausnahme bilden die Nullleitungen bei Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen sowie alle betriebsmässig geerdeten und als solche gekennzeichneten Leitungen, in welche Sicherungen nicht eingeschaltet werden dürfen. An allen denjenigen Stellen, wo sich die Leitung nach der Verbrauchsstelle in ihrem Querschnitt verjüngt, sind mit gewissen Ausnahmen [2]) ebenfalls Sicherungen anzubringen.

374. Sicherungen in Nullleitungen.

Wenn in Nullleitungen, zu denen auch die in Drehstromanlagen die die neutralen Punkte zweier Sternschaltungen verbindenden vierten Leitungen gehören, Sicherungen eingeschaltet würden (Fig. 252), so wäre es nicht aus-

1) Vgl. HERZOG & FELDMANN 1903. HEIM, Elektr. Beleuchtungsanlagen 1903, S. 397.
2) Vgl. S. 331 u. 332 dieses Bandes.


Fig. 252.

geschlossen, dass aus irgend einer Ursache diese statt der im Aussenleiter angeordneten Sicherung durchschmelzen würden. Die unvermeidliche Folge wäre, dass im Falle ungleicher Belastung der beiden Dreileiterseiten eine wesentliche Spannungserhöhung in der anderen Seite stattfände die eine Gefahr für die Anlage bedeuten kann. Durch einen Kurzschluss zwischen dem Mittelleiter und dem einen Aussenleiter sind die Gebrauchswiderstände der einen Seite ausgeschaltet und die im anderen Kreis eingeschalteten Stromverbraucher werden mit der Aussenleiterspannung beansprucht, wobei etwa eingeschaltete Glühlampen explosionsartig zu Grunde gehen.

375. Sicherungen im Mittelleiter bei Hausinstallationen. Auch in betriebsmässig geerdete Leitungen dürfen Sicherungen nicht eingeschaltet werden, da sie so wie so zwecklos wären. Es kann jedoch der Fall vorkommen, dass es notwendig wird, Sicherungen in den Mittelleiter einzuschalten, nämlich da, wo er nicht mehr den Charakter eines Ausgleichdrahtes führt. Auch in solchen Fällen, wo es nicht immer ohne weiteres möglich ist, den Nullleiter festzustellen, wird die Anbringung einer Sicherung in beiden Leitern erforderlich werden.

Insbesondere bei der Ausführung von Hausinstallationen im Anschluss an Dreileiternetze mit geerdetem Nullleiter ist die Entscheidung der Frage, welche Leitung gesichert werden muss, wichtig und wird im wesentlichen von der Art der Verlegung des Nullleiters abhängen. Der blanke Draht wird in solchen Anlagen entweder bis an den Hausanschluss (Fig. 253) bezw. bis zu den Hauptverteilungspunkten (Fig. 254) durchgeführt, von wo sich die Dreileiterzweige in Zweileiterzweige auflösen.

Von diesen Punkten aus werden die Mittelleiter entweder isoliert verlegt (Fig. 254), oder der blanke Mittelleiter wird bis zu den Lampen durchgeführt (Fig. 255).[1])

Im ersten Falle werden sämtliche Teile der Anlage, welche nach dem Dreileitersystem ausgeführt sind, nur in den beiden Aussenleitern gesichert, im Zweileiterzweig dagegen wird in den Mittelleiter, der auf dieser Strecke ja auch nicht mehr Nullleiter ist, eine Sicherung eingeschaltet. Hauptsächlich wünschenswert ist dies, wenn die abzweigenden Leitungen aus Schnüren bestehen, da bei dieser Anordnung der isolierte Mittelleiter nicht in seiner ganzen Länge in unzweideutiger Weise kenntlich und eine Verwechslung desselben mit dem Aussenleiter infolgedessen möglich ist. In diesem Falle liegt die Gefahr nahe, dass die Abzweigsicherung anstatt in den Aussenleiter in den Mittelleiter gelegt wird und jener ungesichert bleibt. Auch die Feststellung des Mittelleiters mit Hilfe des Isolationsprüfers wird nicht als einwandsfrei angesehen werden können, da eine Verwechslung der Leitungen beim Anschliessen derselben oder beim späteren Nachinstallieren möglich ist. Wäre die einpolige Sicherung aber falsch, also in den Nullleiter, statt in den

1) Die frühere Fassung des § 32a der Sicherheitsvorschriften, die hier in Betracht kommt, gab bisher zu Missdeutungen Anlass. Die Jahresversammlung 1904 des V. D. E. nahm daher folgende Fassung an: „Die neutralen oder Nullleitungen bei Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen, sowie alle betriebsmässig geerdeten Leitungen dürfen keine Sicherung enthalten. Ausgenommen hiervon sind isolierte Leitungen, die von einem geerdeten neutralen oder Nullleiter abzweigen und Teile eines Zweileitersystems sind. Diese dürfen Sicherungen enthalten. Wird ein solches System nur einpolig gesichert, so müssen die Abzweigungen vom Nullleiter als solche deutlich gekennzeichnet sein."

Aussenleiter eingebaut, so bestände für den betreffenden Stromkreis eine ständige Gefahr, die auf alle Fälle nur dadurch dem Bereich der Möglichkeit entzogen werden kann, dass in beide Leitungen Sicherungen eingeschaltet werden. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Einschaltung der Sicherung in diesem Falle ist auch der, dass, wenn die Sicherung fehlerhaft im Mittelleiter liegt und aus irgend einem Grunde durchgeschmolzen ist, der Stromkreis zwar stromlos, aber nicht spannungslos ist, so dass für denjenigen, welcher die Anlage bedient oder berührt, Gefahren persönlicher Natur bestehen.

Anders verhält es sich, wenn der Nullleiter blank in der gesamten Installation durchgeführt wird (Fig. 255). Er ist auf seiner ganzen Länge ohne weiteres kenntlich und eine Verwechslung ist nicht mehr möglich, so dass in diesem Falle sich die Einschaltung einer Sicherung in den Nullleiter erübrigt.

Um den Nullleiter auch in dem Falle genügend kenntlich zu machen, wo er in der Hausinstallation isoliert durchgeführt wird, bringen die Kabelwerke Leitungen in den Handel, bei denen die untere Baumwollumspinnung des einen Leiters farbig gekennzeichnet ist. Auch dadurch, dass die äussere

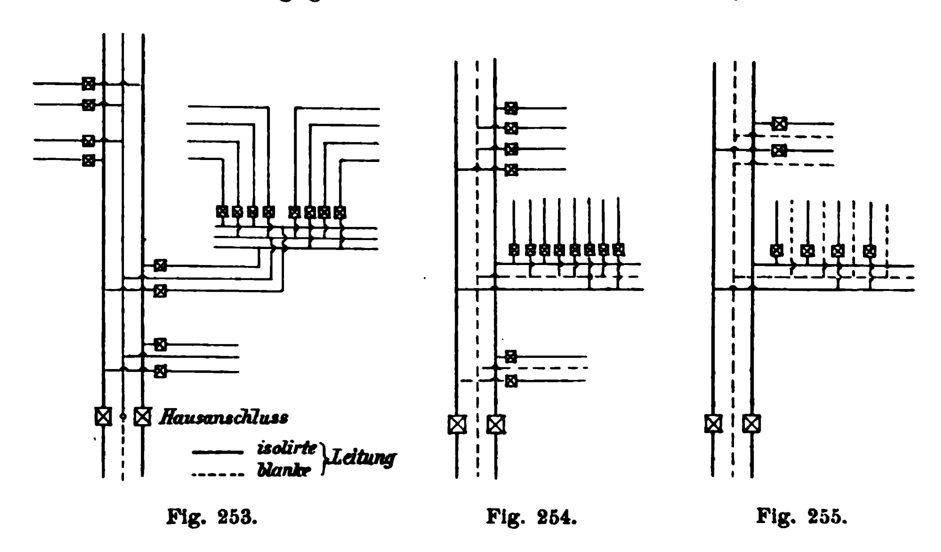


Fig. 253. Fig. 254. Fig. 255.

Umklöpplung bei Schnurleitungen mit einem Faden durchschossen wird, dessen Farbe sich von der Umklöpplung wesentlich unterscheidet, kann eine gute Kennzeichnung geschaffen werden.

376. Sicherungen an Verjüngungsstellen. An den Stellen, wo sich die Leitungen nach den Verbrauchsstellen zu verjüngen, müssen Sicherungen eingeschaltet werden, die jedoch in den Fällen in Wegfall kommen können, wo die vorgeschalteten Sicherungen genügend schwach gewählt sind und auch den abzweigenden geringeren Querschnitt sichern.

Dieser Fall wird hauptsächlich dann eintreten, wenn mit Rücksicht auf einen geringen Spannungsverlust stärkere Leitungen verwendet werden, wie solche der Betriebsstromstärke entsprechen würden.

377. Sicherungen an Abzweigstellen. An den Abzweigstellen muss die Sicherung so nahe wie möglich an den Anfang der abzweigenden Leitung montiert werden, und zwar ist es zulässig, dass der Querschnitt der zwischen Sicherung und Hauptleitung liegenden Verbindungsleitung geringer gewählt wird, als derjenige der Hauptleitung, wenn die Entfernung zwischen beiden 1 m nicht überschreitet. Für den Fall aber, dass für die Sicherung, um sie zum Beispiel bequemer zugänglich

anzuordnen, eine grössere Entfernung gewählt wird, muss der Querschnitt der Verbindungsleitungen so gross wie der der Hauptleitung gewählt werden. Im ersteren Falle bleibt aber das Verbindungsstück des geringeren Querschnittes ungesichert und es muss daher dafür Sorge getragen werden, dass diese Anordnung nicht in der Nähe brennbarer Teile vorgenommen wird. Besteht die Gefahr, dass eine eventuelle Erhitzung eines Leitungsstückes auf brennbare Stoffe übergreifen kann, so ist es geraten, auch hier den Querschnitt der Hauptleitung zu verwenden. Auch die Verwendung von Mehrfachleitungen für diese Verbindungsstrecken geringeren Querschnittes ist nicht zulässig, da sie wegen der Nähe der beiden Pole zu einander, im Falle der Erwärmung, zu Kurzschlüssen führen können.

378. Sicherungen nach Querschnitt bezw. nach Betriebsstrom.

Wie bereits früher gesagt, ist die Abhängigkeit der Schmelzsicherung von der Stromstärke variabel. In solchen Stromkreisen, in denen zeitweise grössere Stromstösse auftreten, werden stärkere Sicherungen verwendet werden müssen, als in solchen, bei denen eine konstante Stromstärke herrscht. Ferner ist die Entscheidung der Frage wichtig, ob man den Querschnitt des Leiters sichern soll oder ob man die Sicherung der Betriebsstromstärke der zu sichernden Leitung anpasst. Früher neigte man der ersteren Ansicht zu und es schrieben daher die Sicherheitsvorschriften auch die Stärke der Schmelzstreifen nach dem Querschnitt vor. Dies führte jedoch dazu, dass Leitungen, deren Querschnitte, um einen möglichst geringen Spannungsverlust zu haben, möglichst gross gewählt werden, durch entsprechende starke Sicherungen gesichert wurden, wodurch aber die eingeschalteten Verbrauchsapparate thatsächlich nicht genügend geschützt waren. Aus diesem Grunde passt man nunmehr die Sicherungen möglichst der Betriebsstromstärke der betreffenden Stromkreise an, und zwar ist dies um so wesentlicher, als bei der Verwendung höherer Spannungen die Querschnitte in bezug auf ihre zulässige Strombelastung bei weitem nicht ausgenützt werden.

Bei der Festlegung der Sicherungen muss natürlich berücksichtigt werden, dass als Betriebsstromstärke in Motoren- oder Bogenlampenstromkreisen diejenigen Werte aufzufassen sind, die im äussersten Falle in diesem Stromkreis auftreten können; also z. B. muss die Sicherung den Anlaufstrom der Motore bequem ertragen können und auch in Bogenlampenstromkreisen nicht sofort durchschmelzen, wenn infolge Zusammenbackens der Kohlen die Stromstärke zeitweise ansteigt.

379. Mehrere Verteilungsleitungen an einer Sicherung.

Um eine möglichst einfache Installation zu erzielen und die Anzahl der Sicherungen auf das notwendigste Mass zu beschränken, können mehrere Verteilungsleitungen an eine gemeinsame Sicherung angeschlossen werden, welche für einen normalen Strom von 6 Amp. bestimmt ist. Hinter dieser Sicherung brauchen dann Querschnittsveränderungen und Abzweigungen nicht mehr besonders gesichert zu werden. Durch diese Ausnahme werden hauptsächlich die Glühlichtinstallationen sehr erleichtert und es ist möglich, da die Schmelzeinsätze der Sicherungen, wie bereits angegeben, das $1^1/_4$ fache ihres Normalstromes dauernd zu tragen vermögen, diese Stromkreise dauernd mit 7·5 Amp. zu belasten, so dass bei 110 Volt 15, bei 220 Volt 30 Lampen von je 16 N. K. in einen Stromkreis geschaltet werden können. Man könnte eventuell, da die Sicherungen erst bei der doppelten Stromstärke durchschmelzen, noch etwas weiter gehen und die Anzahl der Lampen noch etwas erhöhen. Man wird jedoch von dieser Anordnung nur in den seltensten Fällen Gebrauch machen, da man eine so grosse Anzahl von Lampen nicht

gern von einer Sicherung abhängig macht. Bei der Installation von Kronleuchtern grösseren Umfanges, welche mit mehreren hundert Lampen ausgerüstet sind, ist es zulässig, statt einer Sicherung von 6 Amp. eine solche von 12 Amp. zu wählen, solange die Betriebsspannung 130 Volt nicht übersteigt, so dass für diesen Zweck die oben angegebene Anzahl der in einem Glühlichtstromkreis möglichen Lampen verdoppelt werden kann. Von dieser Erleichterung, die wohl dem Gedanken einer möglichst einfachen Leitungsführung innerhalb des Beleuchtungskörpers entspringt, wird äusserst selten Gebrauch gemacht. Ausserdem ist es bei derartigen Kronen auch erwünscht, eine möglichst grosse Regulierbarkeit der Lichtstärke zu erhalten, wodurch dann eine Unterteilung der Lampen so wie so bedingt ist. In diesem Fall wird man dann natürlich jeden Zweig besonders sichern.

380. Überflüssige Sicherungen.

Die an vielen Stelleu zulässige Erleichterung bezüglich der Anordnung der Sicherungen ist darum bemerkenswert, weil hierdurch eine grosse Anzahl von Anschlussstellen, die am ehesten zu einem schlechten Kontakt führen, vermieden werden. Aus dem gleichen Grunde, aber auch, weil jede Sicherung an und für sich als ein unsicheres Glied der Leitungsstrecke betrachtet werden muss, ist die Anordnung der Sicherungen auf das thatsächlich notwendigste Mass zu beschränken. Die Anbringung überflüssiger Sicherungen wird zwar äusserst selten vorkommen, schon wegen der damit verbundenen Kosten, dagegen ist der Fall sehr häufig, dass überflüssig gewordene Sicherungen an solchen Stellen eingeschaltet bleiben, wo sie nicht hingehören.

381. Sicherung grosser Maschinen.

Eine viel umstrittene Frage ist die, ob unmittelbar hinter den stromerzeugenden Maschinen Sicherungen eingeschaltet werden müssen, wodurch die Dynamomaschinen gegen eine übermässige Strombelastung zu schützen wären. Die Sicherheitsvorschriften lassen diese Frage offen, so dass es dem erbauenden Ingenieur überlassen bleibt, Sicherungen vorzusehen oder nicht.

Ihre Anbringung ist in vielen Fällen aber nicht ganz unbedenklich, zumal wenn es sich um grössere Maschinenanlagen handelt, da das plötzliche Durchschmelzen der Sicherungen eine momentane Entlastung der betreffenden Maschinen zur Folge hat, wodurch eine nicht zu unterschätzende Gefahr für dic antreibende Maschine, aber auch für die parallel zu ihr arbeitenden anderen besteht. Bei modern und gut konstruierten Dampfmaschinen ist die Tourenzunahme in diesen Fällen jedoch nicht allzu hoch, sie kann aber bei Undichtigkeiten u. s. w. grösser werden als erwünscht ist. Fehlt andererseits die Sicherung, so wird ein Kurzschluss die Ankerwindungen gefährden. Bei Nebenschluss-Dynamomaschinen, wie sie in Gleichstromanlagen in den meisten Fällen verwendet werden, werden im Falle eines Kurzschlusses die Nebenschlussspulen stromlos, so dass das Durchschmelzen der Sicherungen weniger unangenehme Konsequenzen nach sich ziehen würden, wenn diese Maschine als einzige Stromquelle dient. Werden die Maschinen durch Riemen angetrieben, so ist das Abspringen derselben sehr leicht möglich.

Wird also eine Sicherung eingeschaltet, so besteht eine Gefahr für die antreibende Maschine, während für den Fall, dass nicht gesichert wird, eine Gefährdung des Ankers möglich ist. Es bliebe somit die Frage offen, ob an einer Dynamomaschine oder einer Antriebsmaschine grössere Schäden auftreten können. Es wird angenommen, dass die an einer Dynamomaschine auftretenden wesentlich geringer seien, als die an einer Antriebsmaschine; jedenfalls pflegt man grössere Maschinen, hauptsächlich solche für starke Ströme, nicht zu sichern.

382. Zentralisierung der Sicherungen. Um die Sicherungen möglichst leicht bedienen zu können, ist es erforderlich, sie in handlicher Höhe anzuordnen und die Verteilungssicherungen möglichst zu zentralisieren. Um letzteres möglichst leicht erreichen zu können, sind alle bestehenden Systeme so konstruiert, dass die Elemente gut aneinander gereiht werden können. Die Anbringung der Sicherungen in handlicher Höhe ist namentlich auch in Freileitungen zu empfehlen, und zwar werden die Sicherungen hier in entsprechend konstruierte Schutzkästen eingeschlossen, welche an den Masten befestigt werden (Fig. 256).

383. Örtliche Anordnung der Sicherungen. Der Zweck der Sicherungen ist genügend erörtert, so dass es keiner besonderen Begründung bedarf, wenn verlangt wird, dass der in einem Leiter fliessende Strom auch thatsächlich die zugehörige Sicherung passieren muss. Es ist daher jede Sicherung so anzubringen, dass sich kein Nebenschluss zu ihr bilden kann. Besonderes Augenmerk ist hierauf zu richten, wenn die Rückseiten der Sicherungssockel stromführende Teile enthalten, selbst wenn dieselben mit irgend einem Kitt bedeckt sind. Diese Füllmassen haben sich nicht immer als wasserdicht bewiesen, was zur Folge hatte, dass Sicherungen, die nicht an ganz trockenen Wänden untergebracht waren, starken Erd- und Nebenschluss aufwiesen.

In feuchten Räumen bringe man die Sicherungen nur dann unter, wenn es gar nicht anders geht und wähle dann solche Modelle, die in dicht geschlossenen eisernen Kästen montiert oder in einwandfreier Weise, etwa auf Isolierglocken, gegen Erde isoliert sind.

384. Sicherungen in Ringleitungen. Durch die vorstehend angegebenen Anordnungen der Sicherungen werden aber noch nicht alle Fälle gedeckt,[1]) und zwar diejenigen nicht, in welchen der Strom der Verbrauchsstelle von mehreren Seiten zufliesst. Sengel[2]) hat die Frage, wie derartige Leitungsanordnungen zu sichern seien, eingehend untersucht und an Beispielen erläutert, wie je nach Lage der Kurzschlussstelle und nach der Art der Anlage bei einem Kurzschluss der Strom anwachsen kann. Er erläutert, wie man ein grösseres Netz durch Sicherungen in kleinere Bezirke teilen kann, um die Störungen auf einen möglichst kleinen Bezirk zu beschränken. Dabei sollen aber die Kosten, die für den Einbau der Sicherungen aufgewendet werden müssen, im Einklang mit dem Vorteil des hierdurch bedingten verkleinerten Störungsgebietes stehen.

Schliesslich schlägt Sengel vor, dass

1. „Sämtliche Leitungen, denen von beiden Seiten Strom zufliesst, beiderseitig mit Sicherungen versehen werden, die dem Querschnitt der Leitungen angepasst sind.
2. Die Sicherungen können bei einzelnen Leitungen in Fortfall kommen, wenn deren zulässige Betriebsstromstärke mindestens der Summe derjenigen Ströme gleichkommt, welche in dem gleichen Punkt aus anderen stromzuführenden Leitungen zusammentreffen.
3. Sind von solchen Leitungen weitere abgezweigt, die aber von der anderen Seite keinen Strom erhalten, so müssen dieselben ihrem Querschnitt entsprechende Sicherungen erhalten, falls ihre zulässige Betriebsstromstärke kleiner ist, als die Summe der Ströme, für welche die zum Schutz der Hauptleitung dienenden Sicherungen bemessen sind."

---

1) Über die Sicherung konzentrischer und verseilter Kabel vgl. Hdb. VI, 1 S. 382 u. 383.
2) ETZ 1902, S. 381.

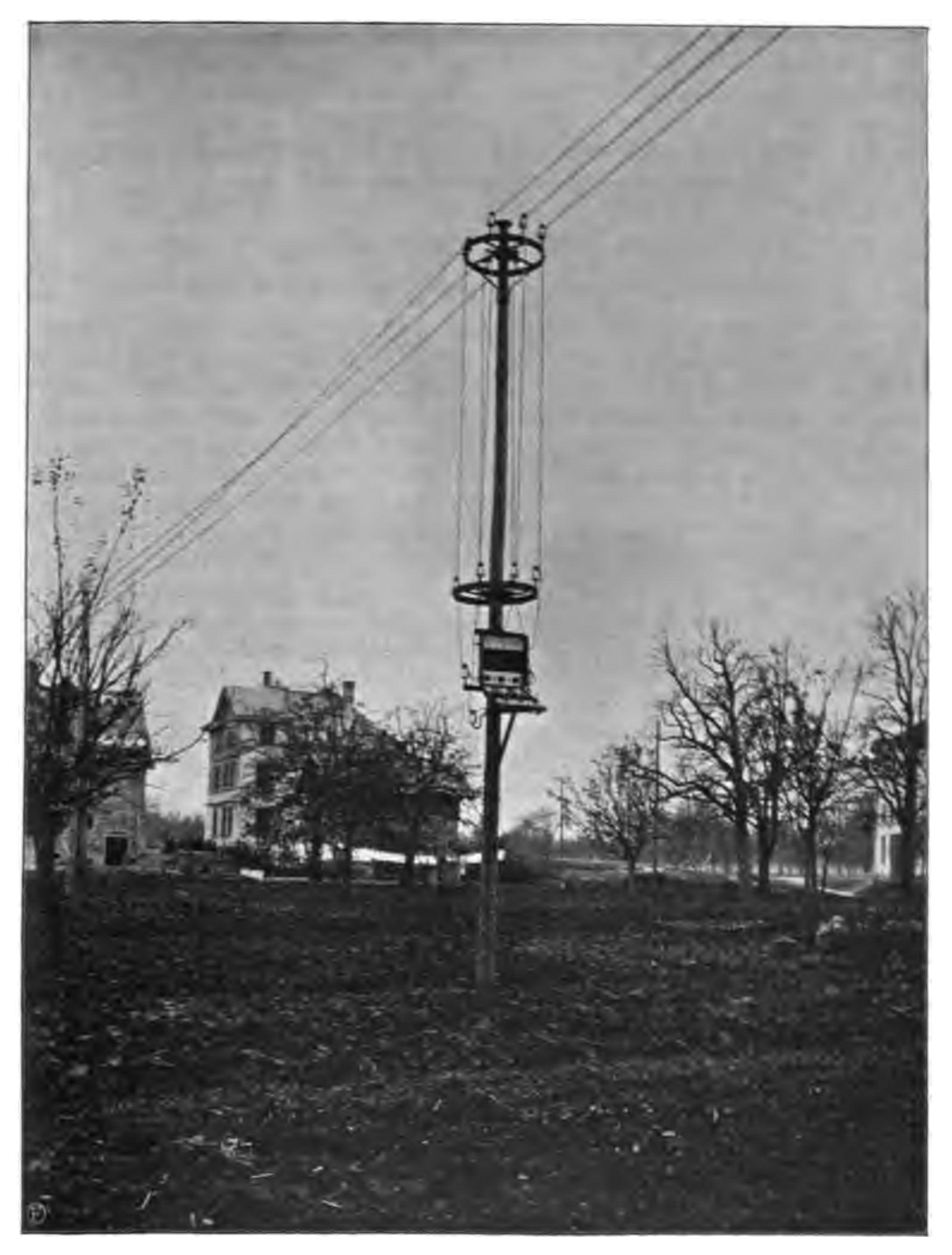


Fig. 256.

Sicherungssysteme.

Nachdem im Jahre 1896 die Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Kraft getreten waren, wurde eine rege Thätigkeit in der Konstruktion von Installationsmaterialien und insbesondere Sicherungen entwickelt, um diese Materialien den Vorschriften anzupassen. Es entstanden

mehrere Systeme, die sich konstruktiv scharf unterscheiden und während Siemens & Halske eine ganz neue Art von Installationssicherungen und Patroneneinsätzen ausbildete, hat die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft das bereits von ihr früher verwendete Edison-Stöpselsystem ausgebaut und erweitert. Alle übrigen zur Zeit im Handel befindlichen Konstruktionen lehnen sich mehr oder weniger an eines dieser Systeme an.

Die Installationssicherungen.[1])

1. Die Patronensicherungen der Siemens & Halske-A.-G.

385. Konstruktion und Material der Patronen.

Das Charakteristische dieses Systems sind die Einsätze, welche in Form von Cylindern ausgebildet sind (Fig. 257), an deren Stirnseiten Ringe aus Messing angeordnet sind, welche durch die Schmelzstreifen verbunden werden. Für die ersten Konstruktionen wurden Patronen aus Cement verwendet und Bleidrähte eingezogen, welche, um ihr sicheres Funktionieren auch bei höheren Spannungen zu gewährleisten, ziemlich lang gehalten und somit mehrere Male durch die Patrone auf- und abgezogen wurden. Die einzelnen Gänge des Drahtes waren durch dazwischen geschobene Cementwände voneinander getrennt. Die neueren Konstruktionen bestehen dagegen aus Porzellan, anstatt der Bleidrähte sind Schmelzdrähte aus Silber vorhanden. Parallel zum Schmelzdraht ist noch ein nach aussen hin durch ein kleines Fensterchen sichtbarer Kenndraht angeordnet, welcher beim Durchschmelzen der Sicherung ebenfalls zerstört wird, wodurch von aussen ohne weiteres zu erkennen ist, ob die Patrone noch unversehrt, oder bereits durchgeschmolzen ist. Innerhalb der Patrone, deren Körper nach aussen hin vollständig abgeschlossen ist, sind die Hohlräume mit einem schwer schmelzbaren Material angefüllt, um ein Stehenbleiben des Lichtbogens zu verhindern.





Fig. 257.

Im wesentlichen scheiden sich die Siemens-Sicherungen in zwei grosse Gruppen. Einmal die Sicherung für Spannungen bis 250 Volt und dann für höhere Spannungen bis 550 und 1200 Volt.

386. Unverwechselbarkeit der Patronen für 250 Volt.

Für beide Systeme ist eine Unverwechselbarkeit der Patronen vorgesehen, um das unbeabsichtigte Einsetzen von stärkeren Sicherungen an Stelle schwächerer zu vermeiden. Diese Unverwechselbarkeit wird dadurch erreicht, dass die Patrone verschieden tiefe Löcher aufweist, denen entsprechend auf die Gewindezapfen der Elemente Stellmuttern aufgeschraubt sind. Bei den Patronen wird deren ganze Höhe, welche 35 cm beträgt, zur Unterscheidung in sieben verschiedene Stufen geteilt, so dass der Unterschied für jede Stufe 5 mm beträgt. Hierdurch wird die Unverwechselbarkeit mit absoluter Sicherheit erreicht. Wie aus der Fig. 258 ersichtlich, wird die Patrone für 40 Amp. ohne jede Stellmutter verwendet und ist demzufolge das durchgehende Loch nur so weit, um den Gewindezapfen durchzulassen. Für die übrigen für geringere Stromstärken bestimmten Patronen steigt die Anzahl der Stellmuttern um je eine, bis schliesslich die kleinste für 2 Amp. wieder

1) Vgl. Anm. 1, S. 337.

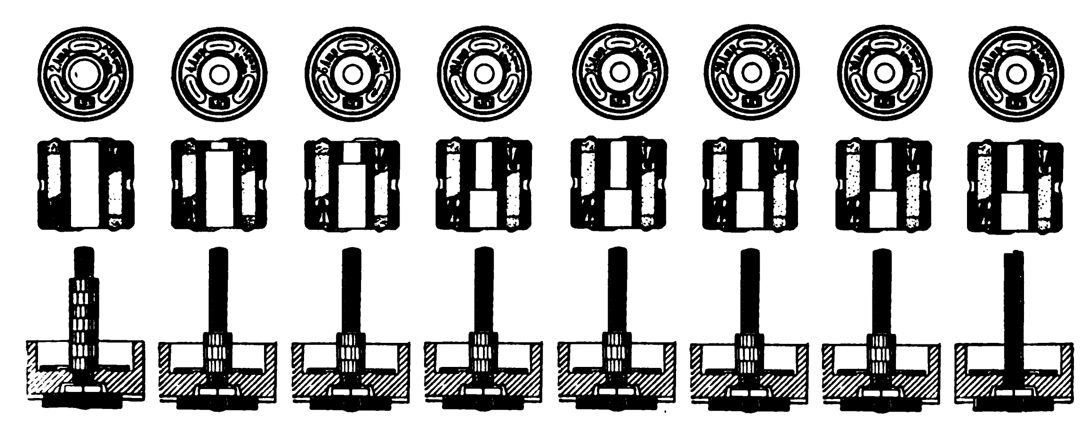


Fig. 258.

mit durchgehendem Loch aufgeführt wird, welches jedoch so gross ist, dass die Patrone über die Stellmuttern hinweggeschoben werden kann.

Durch diese Anordnung wird erreicht, dass alle Einsätze gleich lang sind und auch in eingesetztem Zustande keiner über den anderen hervorragt. Über die Unverwechselbarkeit der Patronen für Spannungen über 250 Volt siehe S. 343.

387. Konstruktion und Schaltung der Elemente.

Bei der Konstruktion der für diese Patronen bestimmten Sicherungselemente ist von vornherein auf eine bequeme Montage und Anordnung der Elemente Rücksicht genommen worden. Die Sicherungselemente, welche Fig. 263 u. 264 zeigen, lassen sich einzeln verwenden und auch auf Schiefer- oder Marmortafeln oder auf Holzrahmen zu Verteilungssicherungen zusammenstellen, in welchem Falle alle stromführenden Teile auf der Rückseite angeordnet werden.

Ferner sind eine Reihe von Sicherungselementen zu erwähnen, welche für spezielle Fälle, Hausinstallationen[1]) u. s. w. Verwendung finden und in der Regel als Einzelsicherungen gebraucht werden. Ihre Konstruktion zeigen die folgenden Figuren, und zwar Fig. 259a ein einpoliges, Fig. 259b ein zweipoliges Element. Der häufig vorkommende Fall, dass in Dreileiteranlagen auch der Nullleiter mit dem Aussenleiter gemeinschaftlich verlegt wird, führte

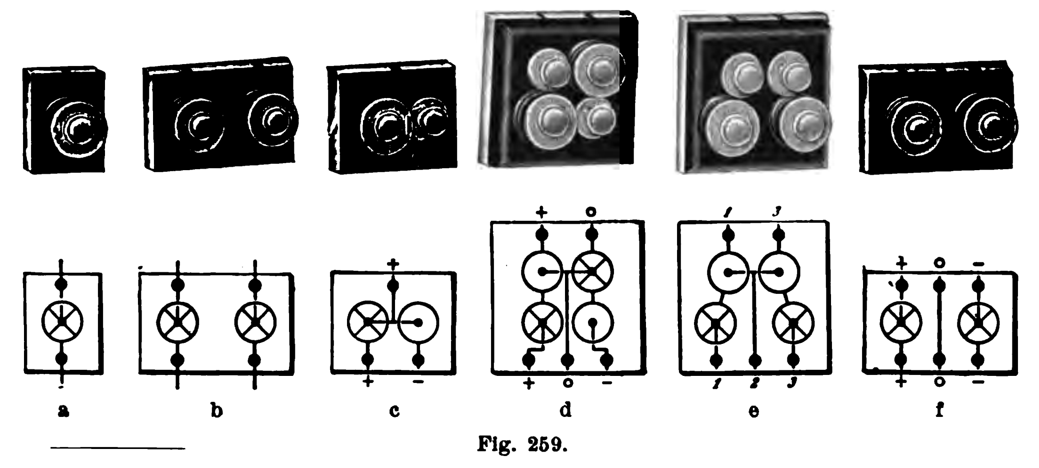


Fig. 259.

1) Näheres über Hausanschlusssicherungen siehe Hdb. VI, 2.

zur Konstruktion der in Fig. 259f wiedergegebenen Sicherung, welche mit Mittelleiterklemmen ausgerüstet ist. Die Schaltung dieser Elemente zeigen die beigedruckten Schema. Um es in Dreileiteranlagen zu ermöglichen, die Stromkreise von einer Dreileiterseite nach der anderen umzuschalten, ist sowohl das einpolige, wie auch das zweipolige Element derart umgearbeitet worden, dass es durch Einsetzen von blinden Stöpseln möglich ist, die Dreileiterseite beliebig zu wählen (Fig. 259c u. d). Auf der gleichen Konstruktion beruhen die für Drehstrom bestimmten Umschaltesicherungen, die es ermöglichen, auf die gleiche einfache Art die abzweigenden Stromkreise beliebig auf die eine oder andere Phase zu schalten (Fig. 259e). Aus dem beigezeichneten Schaltungsschema können die verschiedenen Stellungen der Patronen und blinden Stöpsel ersehen werden. Der durchkreuzte Kreis entspricht der eingesetzten Patrone.

388. Schutzgehäuse.

An und für sich sind die vorherbeschriebenen Elemente so konstruiert, dass alle stromführenden Teile der Berührung entzogen sind, indessen macht



Fig. 260.



Fig. 261.



Fig. 262.

häufig der Verwendungsort einen weiteren Schutz gegen mechanische und chemische Einwirkungen erforderlich. Diesen Bedürfnissen ist durch ausreichende Gehäusekonstruktionen Rechnung getragen, von denen nur die wenigen vorstehend abgebildeten erwähnt seien.



Fig. 263.



Fig. 264.

Für sehr viele Fälle wird ein hölzerner Schutzkasten (Fig. 260) genügen, der auf porzellanenen Füssen befestigt wird. Für Hausanschlüsse, Bergwerke, feuchte Räume sind dagegen gusseiserne Gehäuse vorgesehen (Fig. 261 u. 262), welche die Elemente wasserdicht umschliessen.

Die Einführungsstellen der Leitungen werden entweder mit einer Kabelmasse ausgegossen, oder aber, es werden luft- und wasserdicht schliessende, hauptsächlich für triefend nasse Räume bestimmte Durchführungen verwendet.





Fig. 265.

389. Verteilungssicherungen.

Ausser diesen Einzelsicherungen sind, um es dem Installateur leicht zu ermöglichen, den Bedingungen der Vorschriften, Zentralisation der Sicherungen, gerecht zu werden, Verteilungssicherungen konstruiert worden, mit deren Hilfe Hauptleitungen in eine grössere Anzahl von Verteilungsleitungen bequem aufgelöst und diese unmittelbar an der Abzweigstelle gesichert werden können.

Es entstanden drei verschiedene Sicherungselemente:

1. Ein einpoliges Element, welches Fig. 259a ähnelt und in den Fällen erforderlich wird, in welchen wegen ungünstiger, örtlicher Verhältnisse eine möglichst räumliche Trennung der beiden Pole erwünscht ist, ferner für den Fall, wo in Dreileiter- oder Mehrphasenanlagen ein Leiter geerdet und somit für die abzweigenden Leitungen nur eine einpolige Sicherung erforderlich wird.
2. Ein zweipoliges Element (Fig. 263), bei dem die beiden Pole nicht neben-, sondern übereinander angeordnet sind und welches für zweipolige Verteilungssicherungen, auch für Dreileiter- und Drehstromanschlüsse bestimmt ist. — Schliesslich:
3. Ein Umschalte-Element (Fig. 264).

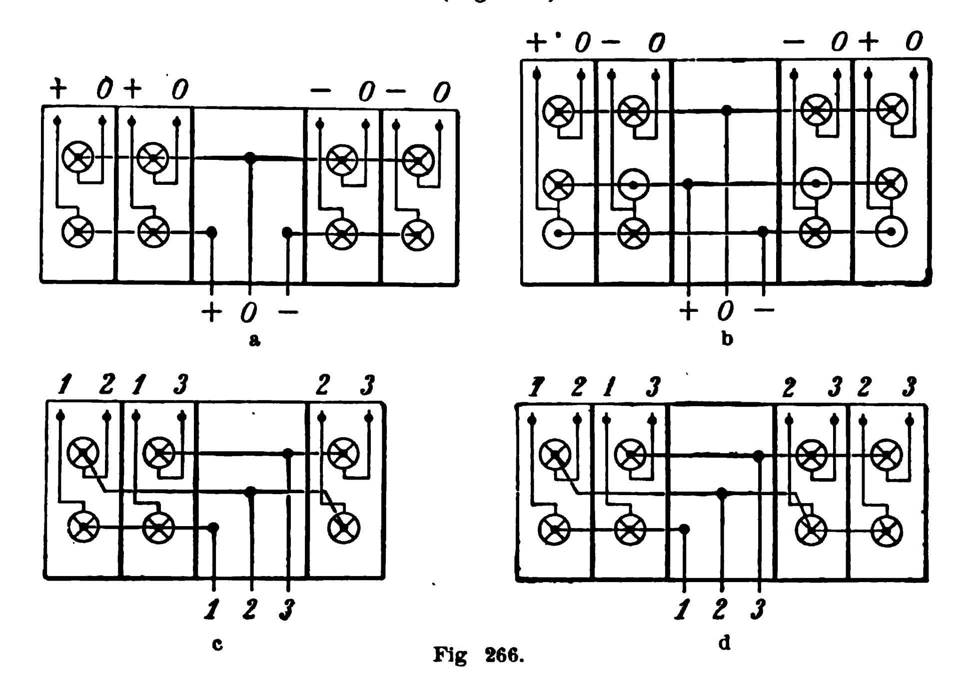


Fig 266.

390. Schutzverkleidungen.

Um die Anschlüsse für diese Verteilungssicherungen ebenfalls der Berührung zu entziehen, sind besondere Schutzverkleidungen geschaffen, die aus zwei Porzellanwänden bestehen, zwischen denen ein Schutzdeckel aus Isoliermaterial eingeschoben wird.

Für Hauptleitungen bis 50 mm², entsprechend einer Normalstromstärke von 100 Amp., ist eine „kleine Schutzverkleidung“ (Fig. 265) für Hauptleitungen bis 120 mm², entsprechend einer Normalstromstärke von 200 Amp., ist eine „grosse Schutzverkleidung“ vorgesehen.

Für alle die Fälle jedoch, wo die Leitungen seitlich, d. h. nicht in der Mitte der Verteilungssicherungen angeschlossen werden sollen, müssen, gleichgültig um welchen Querschnitt der Hauptleitungen es sich handelt, die grossen Schutzverkleidungen gewählt werden.

Die Porzellanwände sind so ausgebildet, dass die Hauptleitungen ohne Unterbrechung hindurch geführt werden können. Der Anschluss der zu den Sicherungen führenden Schienen oder Leiter erfolgt durch besondere Klemmen (Fig. 268c).

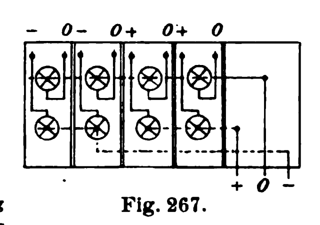


Fig. 267.

391. Schaltung der Verteilungssicherungen.

Endet die Hauptleitung jedoch an einer Verteilungssicherung, so wird als obere Wand ein geschlossenes Porzellanstück gewählt. Bei durchgehender Hauptleitung werden oben und unten die gleichen Wände verwendet.

Die Anordnung der Elemente ist aus den Skizzen auf Seite 339 ersichtlich, in welche der Stromlauf für Dreileitersysteme (Fig. 266 a, b) und für Drehstromanschlüsse (Fig. 266 c, d) eingezeichnet ist. Bei der ersteren Anordnung ist ersichtlich, dass durch Ansetzen von weiteren Elementen an jeder Seite eine Vergrösserung der Verteilungssicherung möglich ist, wodurch

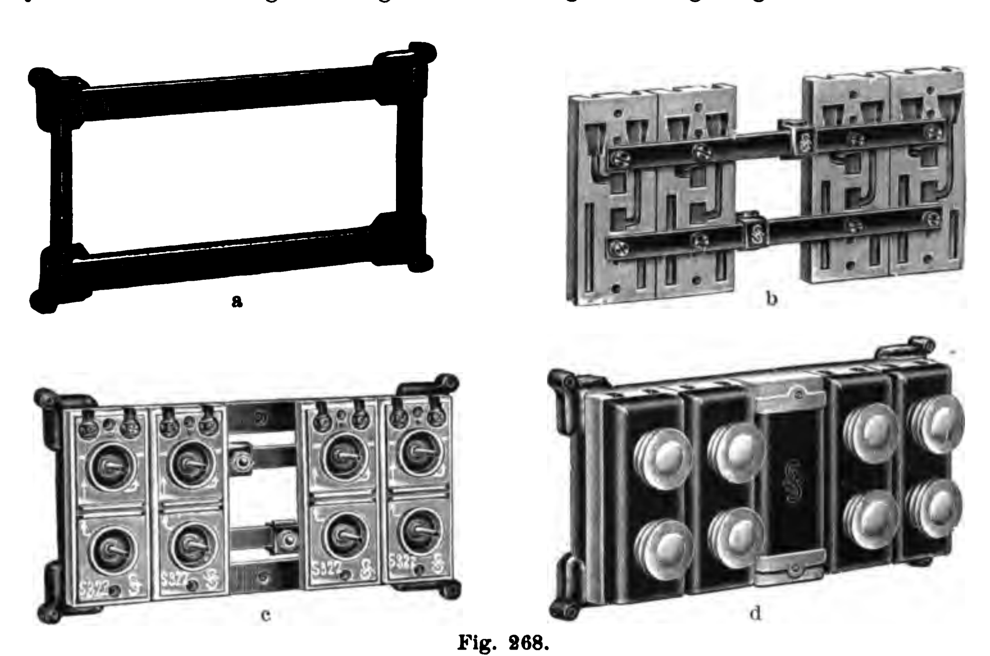


Fig. 268.

auch gleichzeitig die Sicherungen auf beide Dreileiterseiten gleichmässig verteilt werden können.

Es ist natürlich ohne weiteres auch möglich, eine beliebige andere Anordnung der Elemente zu wählen, wie z. B. Fig. 267 zeigt, wo die Hauptleitung an einer Seite, statt in der Mitte angeordnet worden ist.

392. Aufbau der Verteilungssicherungen.

Die Zusammenstellung der Sicherungen kann entweder auf Holzrahmen oder auch auf Marmortafeln erfolgen.

Der Holzrahmen (Fig. 268 a) besteht aus zwei Längs- und zwei Querleisten, die an den Ecken durch Eckhalter zusammengehalten werden. Wird eine grössere Anzahl von Sicherungen aneinander gereiht, so dass die Holzleisten infolge der grossen Länge der Verteilungssicherung noch einer Stütze in der Mitte bedürfen, können noch Seitenhalter angebracht werden.

Auf dem Holzrahmen werden die Elemente mit Holzschrauben befestigt, für die auf jeder Seite des Elementes ein Loch vorgesehen ist (Fig. 268 c).

Zweckmässig noch vor der Befestigung der Elemente auf dem Holzrahmen werden die erforderlichen Schaltungen vorgenommen. Dieselben werden mit Kupferschienen ausgeführt, auf denen die Elemente mit Anschluss-

schrauben befestigt werden (Fig. 266 b u. 270 a). Diese pressen die Kontaktstücke, welche im Sockel des Elementes eingekittet sind, fest gegen die Kupferschienen und vermitteln somit den Kontakt. In die Kupferschienen, die normalerweise einen Querschnitt von 5 $\times$ 18 mm besitzen, werden in einer Entfernung von 70 mm Löcher gebohrt, wobei das erste Loch 10 mm vom Ende entfernt angebracht wird.



Fig. 269.

Zum Schluss werden die Schutzverkleidungen für die Hauptleitungen angebracht (Fig. 268 d); ihre Porzellanwände können direkt auf den Längsseiten des Rahmens aufgeschraubt werden (Fig. 270 b), wenn kleine Schutzvorrichtungen bei Hauptleitungen unter 50 mm² verwendet werden. Werden dagegen Hauptleitungen über 50 mm² verwendet, so sind grosse Schutzverkleidungen erforderlich, für welche erst besondere Schutzbleche auf dem Rahmen befestigt werden müssen, und erst auf diesen werden die grossen Porzellanwände (Fig. 269 u. 270 c) mit Eisenschrauben gehalten. Nach

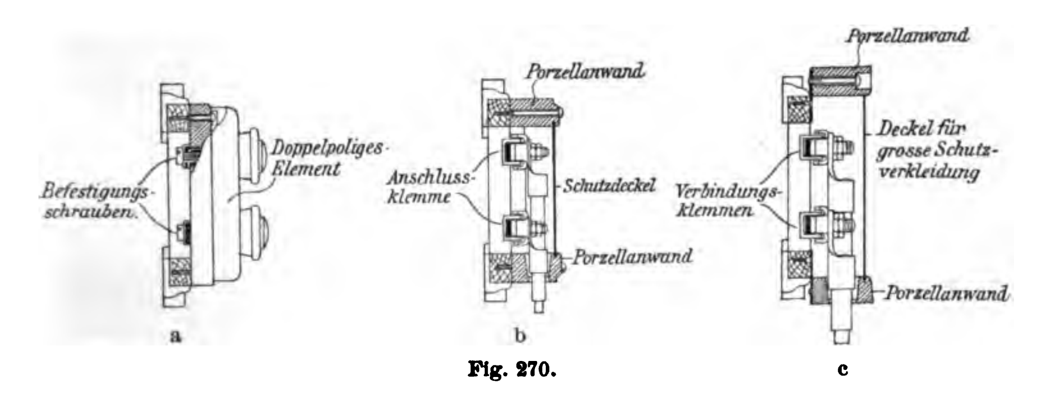


Fig. 270.

dem Festziehen der einen Wand wird der isolierende Deckel in die für ihn vorgesehenen Rillen geschoben und erst dann die zweite Wand befestigt.

Zur Verbindung der Hauptleitungen mit den Kupferschienen dienen die im Handbuch VI, 2 beschriebenen Klemmen, deren Anschluss aus Fig. 268 c ersichtlich ist.

Der Zusammenbau der Elemente auf Marmortafeln ist besonders da zu empfehlen, wo ausser den Sicherungen auch noch Ausschalter und für Bogenlichtstromkreise auch Stromindikatoren vorgesehen sind.

Zunächst wird die Marmortafel hergerichtet, und zwar sind folgende Bohrungen erforderlich:

1. für die Anschlussbolzen, welche die Elemente auf der Tafel halten; dieselben werden in Abständen von 70 mm voneinander gebohrt (Fig. 271 a u. 271 b);
2. für die Durchführungsbolzen, welche den Kontakt zwischen den Hauptleitungen und den hinter der Marmortafel liegenden Kupferschienen vermitteln;
3. für die Befestigungsschrauben für die Wände der Schutzverkleidungen.

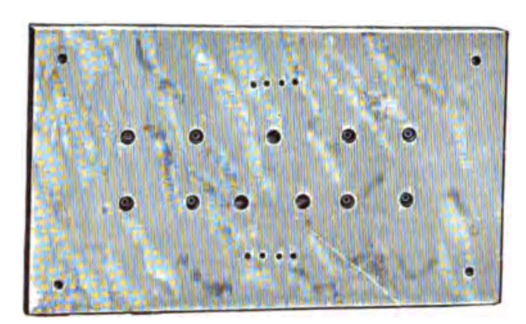


Fig. 271 a.

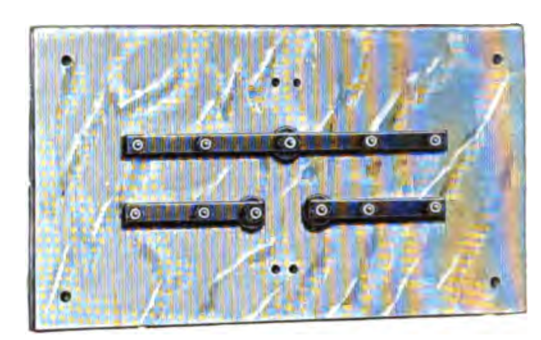


Fig. 271 b.

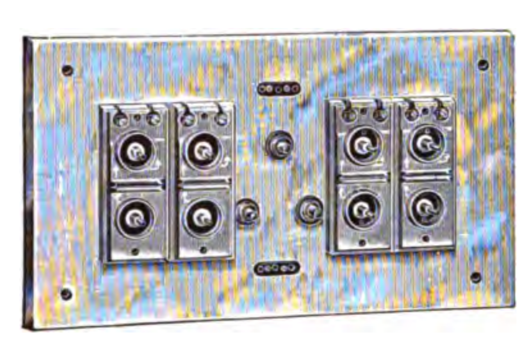


Fig. 271 c.



Fig. 271 d.

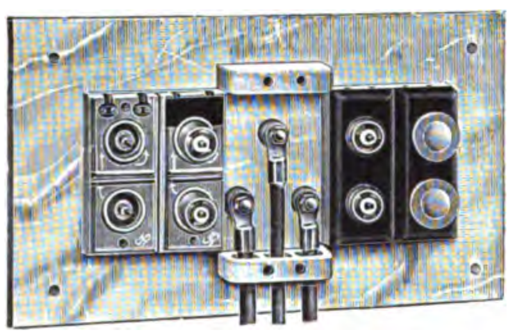


Fig. 271 e.

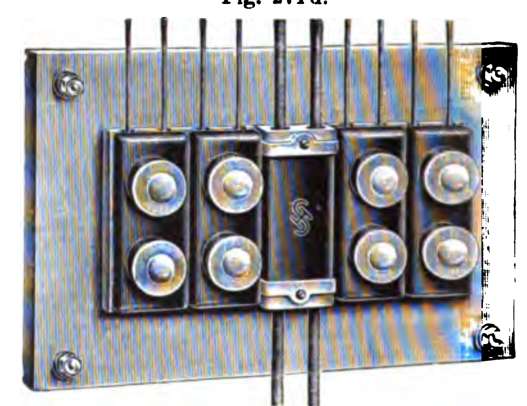


Fig. 271 f.



Fig. 271 g.

Die Anschlussbolzen für die Befestigung der Elemente werden mit ihrem kürzeren Ende im Element befestigt und mit ihrem freien Teil durch die Marmortafel geführt (Fig. 271 g) und auf deren Rückseite durch eine Mutter befestigt. Auf diese werden die Kupferschienen aufgelegt, die nunmehr durch eine zweite auf den Bolzen geschraubte Mutter gehalten werden (Fig. 271 b).

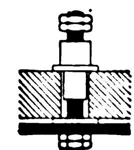


Fig. 272 a.

Der Anschluss der Hauptleitungen erfolgt hier durch die in Fig. 272 a gezeichneten Durchführungsbolzen, welche auf der Marmortafel festgeschraubt werden; eine grosse Unterlagscheibe überträgt den Druck der durch eine Gegenmutter gesicherten Verschraubung auf die Marmortafel.

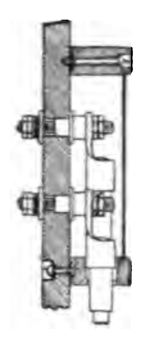


Fig. 272 b.



Fig. 273 a.

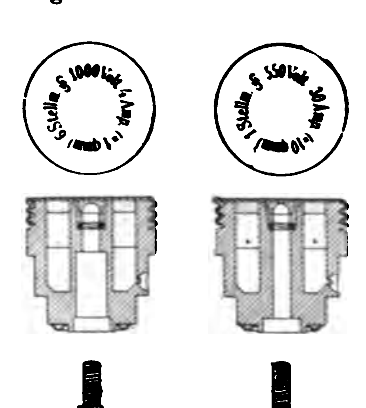




Fig. 273 b.

Wenn ein Zusammensetzen der Kupferschienen erforderlich sein sollte, so kann dies in der in Fig. 272 a gekennzeichneten Art geschehen, indem die Schienen abgesetzt und übereinander gelegt werden. Das Anbringen der Schutzverkleidungen erfolgt in der gleichen Weise wie bei den auf Holzrahmen montierten Verteilungssicherungen.

Speziell für die Montage der Sicherungselemente auf Marmortafeln dient das in Fig. 274 wiedergegebene Element, dessen Zusammensetzung auf einer Tafel in Fig. 275 zu ersehen ist.

293. Patronen für 500—1200 Volt.

Die für höhere Spannungen bestimmten Patronen haben eine andere Form (Fig. 273 a) erhalten müssen, um für die längeren Schmelzdrähte genügende Hohlräume zu schaffen. Für die für niedrige Stromstärken bemessenen Schmelzeinsätze konnte die zulässige Spannung bedeutend erhöht werden, wie Tabelle No. 91 zeigt.

Tabelle No. 91.

Patrone für Ampere	Zulässig für Spannungen bis Volt	Patrone für Ampere	Zulässig für Spannungen bis Volt
4	1200	15	750
6	1000	20	750
10	1000	30	550

Die Unverwechselbarkeit dieser Patronen auf Strom ist auf die gleiche Art erreicht, wie die derjenigen für Spannungen bis 250 Volt. Da aber für beide auch nahezu die gleichen Sicherungselemente verwendet werden (ein Element für diese Patronen zeigt Fig. 276), so wäre es nicht ausgeschlossen, dass auch in Anlagen mit den höheren Spannungen die früher beschriebenen Patronen

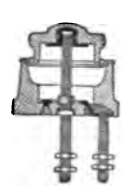


Fig. 274.



Fig. 275.

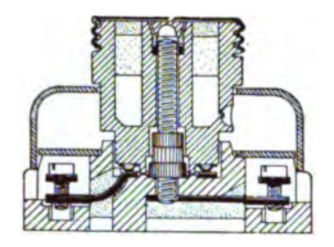


Fig. 276.

eingesetzt würden, wenn nicht eine Vorrichtung vorhanden wäre, welche auch diese irrtümliche Verwendung ausschlösse. Diese besteht darin, dass in alle für Spannungen über 250 Volt bestimmten Elemente von vornherein eine Stellmutter von grösserem Durchmesser angebracht wird (Fig. 273 b), welche es verhindert, dass mit falschen, für niedrige Spannung bestimmten Patronen überhaupt ein Kontakt hergestellt werden kann.

Im übrigen können diese Elemente ebenfalls zu Verteilungssicherungen zusammengestellt werden.

394. Kleine Sicherungen für Ströme bis 10 Amp. Konstruktion.

Als Ergänzung zu ihren Patronensicherungen führten die Siemens-Schuckert-Werke ein kleines Sicherungselement ein, welches sich insofern sehr vorteilhaft auszeichnet, als mit seiner Hilfe und nur wenigen Zubehörteilen alle möglichen Verteilungssicherungen in gedrängtester Form zusammengestellt werden können. Das System ist bestimmt für Ströme bis 10 Amp. bei 250 Volt und bis 6 Amp. bei 500 Volt. Es ist dargestellt in Fig. 277 a.

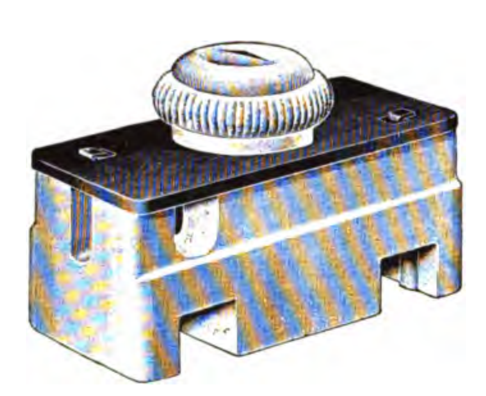


Fig. 277 a.

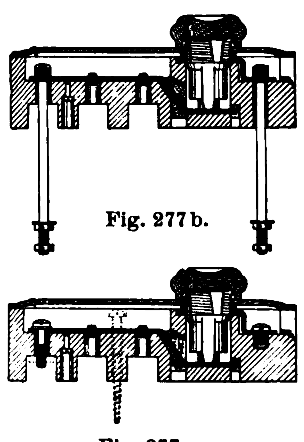


Fig. 277 b.

Fig. 277 c.

Das Element, welches nur einpolig ist, zeigt im Sockel, der aus Porzellan besteht, zwei rechteckige Aussparungen, in welche Kupferschienen gebettet werden, wenn das Element zu Verteilungssicherungen zusammengestellt wird. Hierbei ermöglichen kleine, gut durchkonstruierte Einzelheiten in beliebiger Weise den Anschluss der Elemente und der Abzweigleitungen hinter oder vor den Elementen.

Diese Elemente sind auch als Umschaltesicherung ausgeführt, wie dies Fig. 277 b u. c zeigt. Auf der Vorderseite desselben ist eine gekröpfte Kupferschiene eingelassen, auf welcher der Mittelkontakt des Stöpsels aufsitzt. In der Rückseite des Elementes sind drei Nuten tief eingebettet, in welchen die Zuführungsschienen liegen. Über denselben, durch eine Porzellanschicht von ihnen getrennt, liegt eine Kontaktschiene, welche zu dem zweiten Kontakt des Sicherungsstöpsels führt. Durch eine Anschlussschraube kann dieser Kontaktteil mit jeder der Zuleitungsschienen verbunden werden. Diejenigen Öffnungen, welche nicht benutzt werden, werden zur Vermeidung von Kurzschlüssen durch einen Pfropfen aus Isoliermaterial verschlossen. Das Element

wird oben durch eine isolierende Platte abgedichtet, welche alle stromführenden Teile verdeckt.

Fig. 278 zeigt eine Zusammenstellung der Elemente, und zwar sind hierzu diese Umschaltelemente gewählt, Fig. 279 eine doppelpolige Verteilung, bei welcher die einpoligen Elemente übereinander gesetzt sind.

Die zu vorstehend beschriebenem Element gehörigen Patronen zeigt Fig. 280. Der Schmelzstrahl besteht aus Silber.



Fig. 278. Fig. 279.

395. Unverwechselbarkeit der kleinen Patronen.

Die durch die Verbandsvorschriften bedingte Unverwechselbarkeit wird dadurch erreicht, dass der untere Kontakt der Patronen je nach der Stromstärke einen verschieden grossen Durchmesser hat, und dass in dem Sockel der Sicherung ein Einsatzring angebracht ist (Fig. 280 u. 281), dessen Lochdurchmesser dem Durchmesser des Patronenkontaktes entspricht. Die letzteren

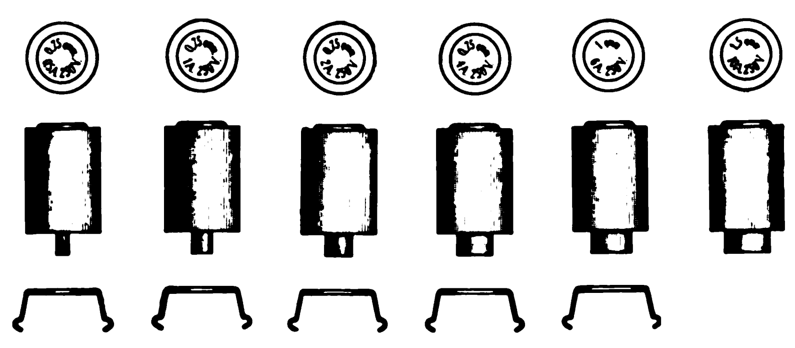


Fig. 280.

passen mit so geringem Spielraum in die metallenen Einsatzringe, dass die Unverwechselbarkeit absolut gesichert ist. — Bei 10 Amp.-Patronen ist kein Einsatzring erforderlich.

Die Patronen und Einsatzringe für 500 Volt sind ausserdem noch so konstruiert, dass auch eine irrtümliche Verwendung von Patronen für 250 Volt ausgeschlossen ist; dieselben besitzen nämlich einen erhöhten Rand (Fig. 281 a) und die Patronen eine dementsprechende Aussparung. Der Rand verhindert die nicht mit Aussparung versehenen und für 250 Volt bestimmten Patronen so einzusetzen, dass sie Kontakt geben.

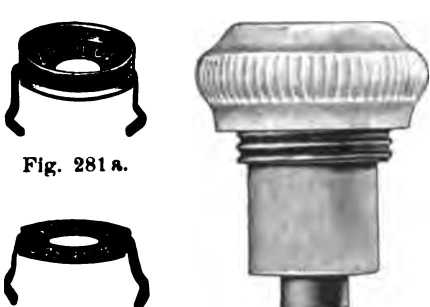


Fig. 281 a. Fig. 281 b. Fig. 282.

Die Einsatzringe können in einfachster Weise in die Sockel der Sicherungen federnd eingesteckt und, wenn gewünscht, durch Umbiegen der beiden Füsschen auf der Rückseite des Sockels noch besonders befestigt werden, um unbefugtes Herausnehmen zu verhindern.

396. Handhabung der kleinen Patrone. Damit die Patrone auch unter Spannung gefahrlos in den Sicherungssockel eingesetzt werden kann, wird der Deckel, der sie in den Sockel hineinpresst, weit über die Patrone hinweggeschoben, so dass sie in ihm federnd festgehalten wird. Durch das Zusammenfügen von Patrone und Deckel zu einem Ganzen (siehe Fig. 282) ist eine dem weit verbreiteten Gewindestöpsel ähnliche Form geschaffen, die sich aber vor ihm durch grosse Polabstände, starke Wandungen, geschützte Lötstellen, ganz besonders aber dadurch auszeichnet, dass nicht stets der ganze Stöpsel, sondern nur ein Teil desselben, nämlich die Patrone, auszuwechseln ist, während der Deckel weiter verwendbar bleibt.

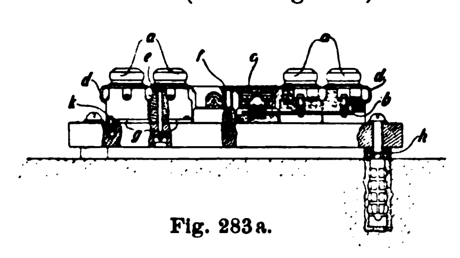


Fig. 283 a.

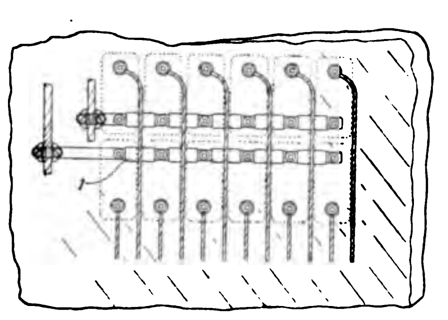


Fig. 283 b.

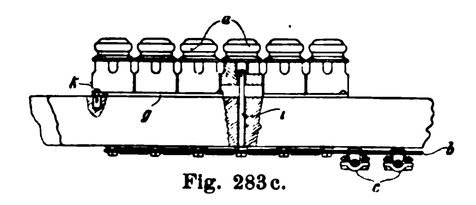


Fig. 283 c.

397. Aufbau der kleinen Elemente. Fig. 283 a zeigt den Aufbau einer Verteilungstafel mit vorderem Anschluss der Leitungen. Die einzelnen Elemente sind durch je zwei Eisenschrauben mit in die Rückseite der Tafel versenkten Vierkantmuttern befestigt. Die Kupferschienen ($9 \times 2{\cdot}5$ mm²) liegen in den dazu ausgesparten Führungsrinnen der Elementsockel und werden durch die Anschlussschrauben, die sie mit den Elementen verbinden, gehalten. Da die Schienenanschlüsse von vorn bedienbar sind, können einzelne Elemente in der fertigen Verteilungstafel ausgewechselt oder zum Austausch der Einsatzringe abgenommen werden. — Die Hauptleitungen können mit den Schienen durch eine besondere Schienenklemme verbunden werden, welche durch ein Porzellangehäuse vor Berührung geschützt ist. Dieses Gehäuse wird mittels zweier Holzschrauben befestigt, für welche in die Schiefertafel Holz- oder Bleidübel einzulassen sind. Für geringere Stromstärken genügt unter Umständen auch eine in die vorhandene Gewindebohrung der Sammelschiene eingesetzte Kontaktschraube. Die von dem Porzellangehäuse nicht bedeckten Teile der Kupferschienen werden durch besondere isolierende Schienenabdeckungen geschützt. Bei zwei übereinander angeordneten Elementenreihen werden die Abzweigleitungen der unteren Elemente für gewöhnlich in dem durch zwei benachbarte Elemente gebildeten Längsschlitz geführt. Zur Abdeckung und Führung des Drahtes an den äusseren Elementen der Verteilungstafel können Abdeckplatten *d* mit seitlichem Wulst verwendet werden (siehe Fig. 283 a).

Fig. 283 b u. c zeigt den Aufbau dieser Sicherungselemente auf Marmorschalttafeln mit hinterem Anschluss der Leitungen.

398. **Patronen-sicherungen für Ströme bis 100 Amp.**

Die durch ihre Einfachheit ausgezeichneten Sicherungspatronen, bei denen die an den Stirnflächen angebrachten Kontaktstücke durch den Schmelzdraht verbunden werden, bedürfen stets einer besonderen Einspannvorrichtung, die, wie aus Fig. 258 u. 276 ersichtlich, darin besteht, dass die Patrone mit Hilfe eines leitenden Gewindestiftes und eines mit einer Metallfläche versehenen Porzellandeckels auf einen zweiten Kontakt gepresst wird. Diese Anordnung kann indessen für höhere Stromstärken keine Verwendung finden.

Die bisher beschriebenen Patronen-Sicherungen der Siemens & Halske A.-G. sind auch nur verwendbar bis zu Strömen von maximal 40 Amp. Darüber hinaus mussten bisher Streifensicherungen genommen werden, die naturgemäss nicht die Vorteile bieten, wie die einfachen und gut geschützten Patronensicherungen. Neuerdings ist es genannter Firma gelungen, Schmelzpatronen zu konstruieren, die sich eng an die übrigen Patronensicherungen anschliessen und bis 100 Amp. und 500 Volt Verwendung finden können.

Für derartige Patronen verwenden Siemens & Halske eine Einspannvorrichtung Fig. 284, bei welcher die der Patrone zugekehrten Anschlussflächen zweier Lagerböcke unter einem bestimmten Winkel zu einander geneigt sind. Die Patronen haben dementsprechend flach ausgebildete, im gleichen Winkel geneigte Kontaktstücke und ihre Länge ist um ein geringes grösser, als die Entfernung zwischen den Kontaktstücken der Einspannvorrichtung, so dass sie durch einen kräftigen Druck zwischen die etwas nachgiebigen Kontaktstücke des festen Teiles festgeklemmt werden können.



Fig. 284.

In diese Einspannvorrichtung passen die Patronen (Fig. 285), die aus Porzellan hergestellt, an beiden Stirnseiten Kontaktplatten tragen, die mit kleinen, abgeplatteten Vorsprüngen versehen sind, um eine recht gute Verbindung mit dem Element zu erreichen.

Die Unverwechselbarkeit wird dadurch erzielt, dass der eine Kontakt der Patrone für die verschiedenen Stromstärken verschiedene Formen und Abmessungen besitzt, während im Körper des Sicherungselementes ein mit entsprechender Durchgangsöffnung versehenes einschiebbares Einsatzstück aus Metall angeordnet ist, welches durch Federn im Sicherungskörper festgehalten wird.



Fig. 285.

Der Schmelzdraht besteht auch bei dieser Patrone aus Silber, der übrige Hohlraum der Patrone ist mit einer schwer schmelzbaren pulverförmigen Masse angefüllt. Parallel zum Schmelzdraht ist ein nach aussen hin sichtbarer Kenndraht angeordnet, wie dies auch bei den auf Seite 336 beschriebenen Patronen der Fall ist. Im vorliegenden Fall ist er jedoch in ein besonderes Glasröhrchen eingeschlossen, so dass beim Durchbrennen dieser Patronen auch nicht die mindeste Feuererscheinung ausserhalb der Patrone zu beobachten ist.

Die Sicherungen werden in gusseisernen Kästen untergebracht,[1]) an welche besondere Kontaktschienen den Anschluss vermitteln. Diese Schienen sind, um einen wasserdichten und gut isolierenden Abschluss zu erreichen, in Porzellaneinführungen eingekittet.

1) Vgl. Klement, Vortrag über Sicherungen auf der Jahresversammlung des V. D. E. 1904. E T Z 1904 und Hdb. VI, 2 Hausanschlüsse.

Um zu vermeiden, dass das Einsetzen der Patronen in ungenügender Weise erfolgt, sind am Deckel der Gehäuse federnde Nasen angeordnet, welche beim Schliessen des Deckels den Einsatz fest in seine Kontakte pressen.

Hauptsächlich eignen sich diese Konstruktionen als Hausanschlusssicherungen und können mit Kabelendverschlüssen, welche letzteren zu diesem Zweck von den Siemens-Schuckert-Werken besonders konstruiert sind, zusammengebaut werden.[1]

399. Kenndrähte.

Wie bereits früher gesagt, hat sich als Schmelzsicherung die einfache Patrone oder der Stöpsel eingebürgert, deren Porzellankörper widerstandsfähig genug ist, um dem Druck der Explosionsgase sicher zu widerstehen. Die einfachen Ausführungsformen lassen jedoch nicht erkennen, ob der Schmelzdraht noch intakt ist oder nicht; es werden daher besondere Kontrolldrähte angeordnet, die jedoch für die kleinsten Ausführungsformen der Patronen die Einfachheit der Herstellung beeinträchtigen.

Siemens & Halske gestalten daher nach einem Gebrauchsmuster die in Fig. 286 u. 286a wiedergegebene Sicherungspatrone dadurch besonders einfach,

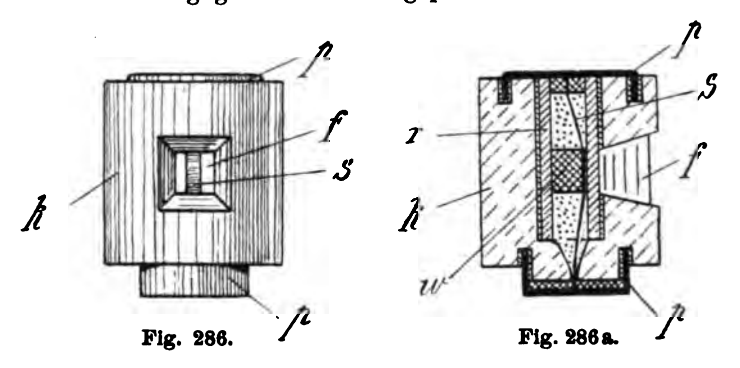


Fig. 286. Fig. 286a.

dass der Schmelzfaden selbst, nicht ein besonderer Kontrollfaden, von aussen sichtbar bleibt, dabei jedoch der feste Abschluss nach dem Explosionsraum zu gewahrt bleibt. Der starkwandige Porzellankörper *K* enthält in seinem Inneren den gerade verlaufenden Schmelzraum, durch den der Schmelzfaden *S* läuft, die kappenförmigen Anschlussstücke *pp* verbindend. Damit der Schmelzfaden von aussen sichtbar bleibt, wird er an einem Schauloch *f* vorbeigeführt. Um diese Öffnung gegen den Schmelzraum abzuschliessen, ist derselbe durch ein starkwandiges Glasröhrchen *r* ausgefüttert, welches in dem Porzellankörper dicht eingekittet ist.

Wird der Schmelzraum mit indifferenten Stoffen ausgefüllt, so erfolgt dies durch den eingeschobenen Pfropfen *w*, welcher, um eine möglichst grosse Sichtbarkeit des Schmelzfadens zu erreichen, ihn vor dem Schauloch dicht an das Glasrohr anpresst.

Bei der Verwendung eines Kontrollleiters, aus dessen Zustand auf den des Schmelzdrahtes selbst geschlossen werden kann, wird derselbe in der Regel so durch eine Schauöffnung geführt, dass er in derselben freiliegt, wodurch die zwar schnell erlöschende, aber unter Umständen schon schädlich wirkende Flamme frei aus der Sicherung heraustreten kann. Ausserdem ist eine Beschädigung des Kontrollleiters nicht ausgeschlossen, wodurch sein Zweck illusorisch gemacht wird. Um diesen Übelstand zu vermeiden,

1) Näheres siehe Hdb. VI, 2: Hausanschlüsse.

wird in der in Fig. 287a gekennzeichneten Anordnung der Kontrollfaden auf einen Umweg durch eine Hülle geführt, die durch ein durchsichtiges Plättchen nach aussen abgeschlossen ist und gleichzeitig in der gezeichneten besonderen Form als Deckel des dosenförmigen Einsatzes erscheint. Diese durchsichtige Platte lässt leicht und sicher den Zustand des Kontrollleiters erkennen, schützt ihn ferner vor Beschädigungen und lässt die auftretende Flamme nicht heraustreten.

In noch einfacherer Art geschieht dies auch bei Edison-Stöpseln nach Fig. 287, wo nicht ein besonderer Kenndraht, sondern der Schmelzdraht selbst von vorn sichtbar gemacht wird, genau wie dies bei den Patronen Fig. 286 geschieht.

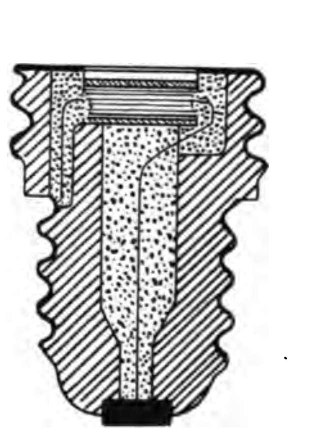




Fig. 287. Fig. 287a.

2. Die Edison-Sicherungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

400. Konstruktion der Patronen und Elemente.

Die Gesellschaft verwendet seit jeher das altbewährte Edison-System und hat dasselbe den gesteigerten Ansprüchen entsprechend umgearbeitet und auf der Höhe erhalten. Durch den Übergang zu höheren Spannungen mussten auch bei diesem System die alten Schmelzdrähte aus Bleilegierungen verschwinden und an deren Stelle solche aus chemisch reinem Silber treten. Der Hohlraum in den Stöpseln wird, um das Stehenbleiben des Lichtbogens wirksam zu verhindern, mit Gips ausgegossen. Für Sicherungen bis 25 Amp. genügt ein Silberdraht, während für die Stöpsel für höhere Stromstärken mehrere parallel geschaltet werden.

Den gesteigerten Anforderungen entsprechend ist jedoch ein neues Element zur Aufnahme der Stöpsel konstruiert worden.

Dieses ist in Fig. 288 wiedergegeben und besteht aus einem Porzellansockel *A*, auf welchem eine Messingbrücke *B* mit angebogener Gewindehülse *C* aufgeschraubt ist. An der Brücke *B* ist gleichzeitig eine Anschlussschraube *D* angeordnet, unter welcher der Draht des abzweigenden Stromkreises festgeklemmt wird.

Im Sockel ist eine Kupferschiene *E* angeordnet, die an beiden Enden mit Schrauben E^1 und E^2 versehen ist, an welche die Hauptleitung angeschlossen werden kann.

Das Element wird durch einen Deckel *G* aus Porzellan abgeschlossen, welcher an einer Seite zwei Nasen, an der anderen ein Schraubenloch besitzt. Eine auf der Oberseite angebrachte Ringwulst verdeckt alle Metallteile des eingeschraubten Stöpsels vollständig, so dass eine unbeabsichtigte Berührung stromführender Teile, auch während des Einschraubens neuer Stöpsel, ausgeschlossen ist.

Die Schraube *H* hält den Deckel auf der Brücke *B*. Um die Sicherung auch für solche Leitungen benutzen zu können, die in gleicher Richtung weiter-

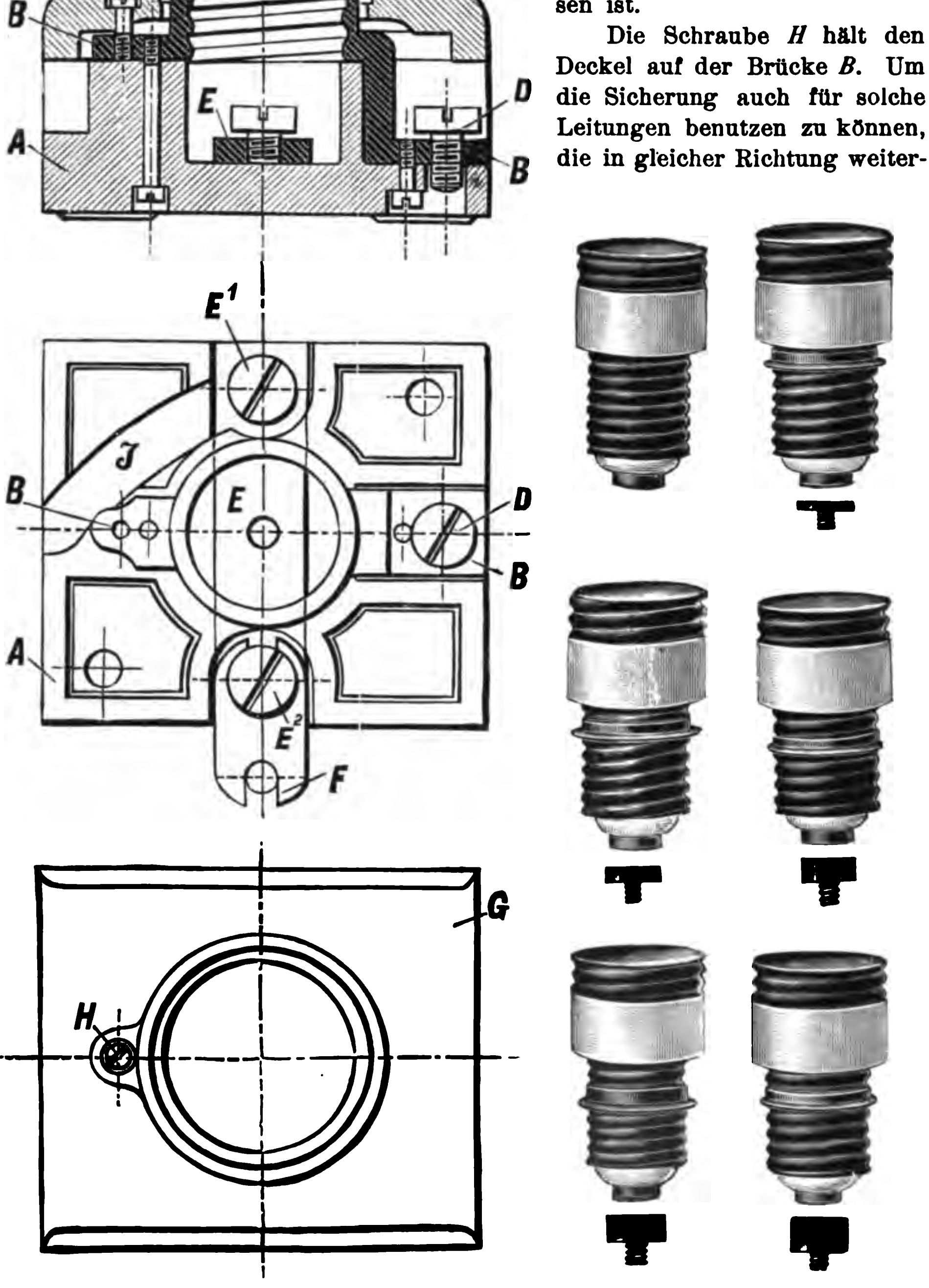


Fig. 288. Fig. 289.

Fig. 290.

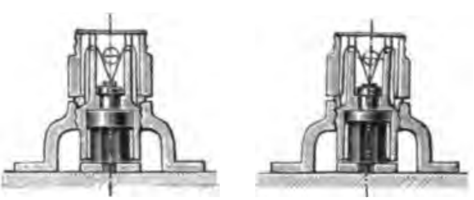


Fig. 291.

geführt werden sollen, erhielt der Porzellankörper den Kanal J, durch welchen der mit der Kontaktschraube verbundene Leitungsdraht geführt wird.

Dieses Sicherungselement wird in drei verschiedenen Grössen geführt, die als kleine, normale und grosse Ausführung in den Handel gebracht werden. Die kleine Sicherung ist bestimmt für Spannungen bis 250 Volt und Ströme bis 6 Amp., die Stöpsel sind erhältlich für $^1/_2$, 1, 2, 4 und 6 Amp.

Die Ausführung in normaler Grösse und die „grosse Form" sind für Spannungen bis 550 Volt verwendbar; die Schmelzeinsätze, die für erstere bis 20 Amp., für letztere bis 60 Amp. durchgebildet sind, stufen wie folgt ab: 2, 4, 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60 Amp.

Die Schmelzeinsätze für die kleine und normale Form sind konstruktiv gleichmässig, nach Art der alten Edison-Stöpsel ausgebildet.

401. Unverwechselbarkeit der Stöpsel.

Die Unverwechselbarkeit dieser wird dadurch erhalten, dass auf den unteren Gewindeteil in einer bestimmten Entfernung von der Grundfläche ein Metallring aufgelötet wird, der sich auf dem oberen Teil des Sicherungs-

Fig. 292.

elementes aufsetzt und somit ein weiteres Einschrauben verhindert. Hierbei wird, wie aus der Fig. 289 hervorgeht, die Entfernung der Grundfläche und dem angelöteten Ringe für die verschiedenen Stöpsel auch verschieden gross gewählt. Infolge dieser Anordnung konnte auch erreicht werden, dass alle Stöpsel gleich lang wurden, wodurch die Fabrikation gegenüber der älteren Form wesentlich vereinfacht wurde. Allerdings stehen



Fig. 293.

die Stöpsel für die verschiedenen Stromstärken aus den Elementen verschieden weit hervor.

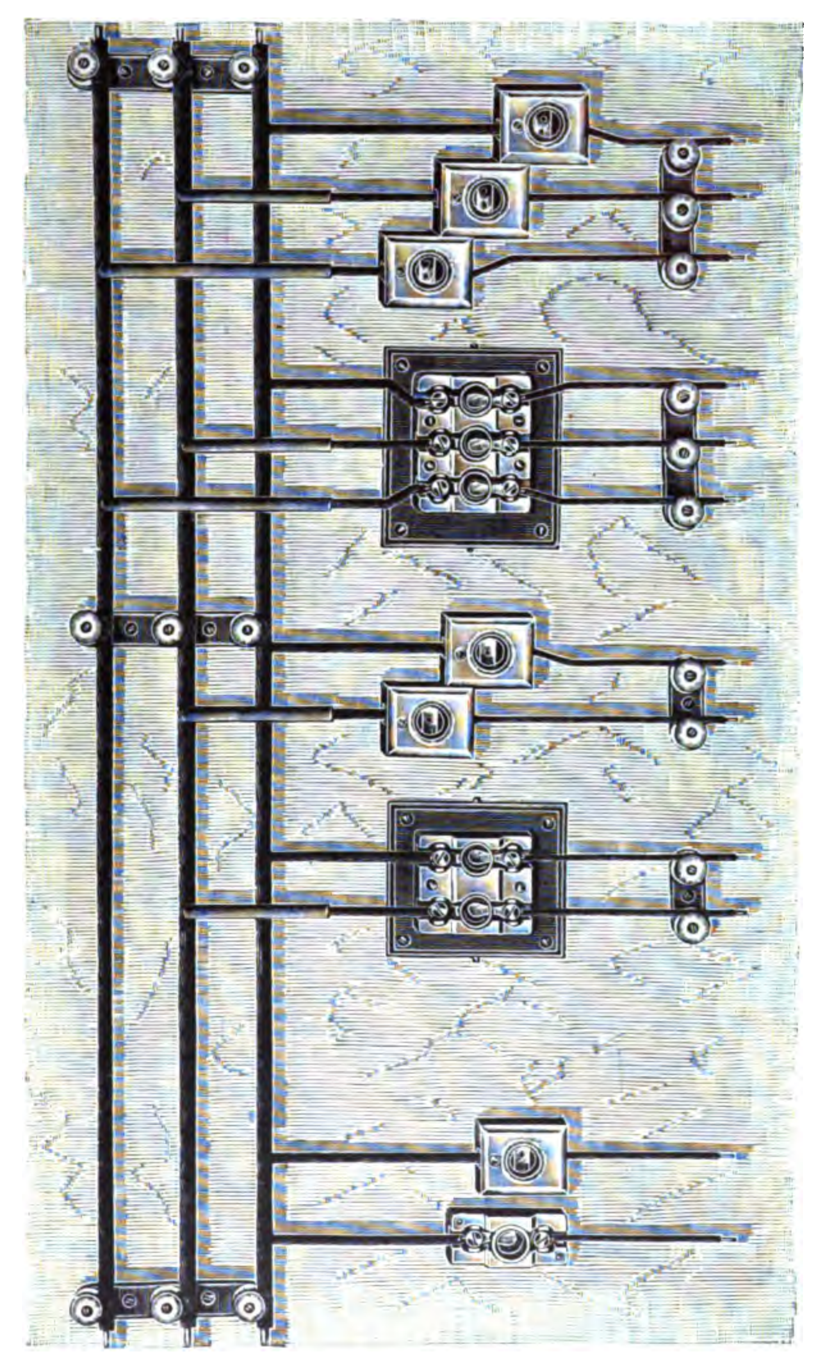


Fig. 294.

402. Konstruktion der grossen Stöpsel.

Für die grosse Ausführung musste die Stöpselform geändert werden, um die kontaktgebenden Teile so weit voneinander trennen zu können, dass ein Überspringen und Stehenbleiben eines Lichtbogens im Falle eines Kurz-

schlusses sicher ausgeschlossen ist. Bei dieser neuen Konstruktion sind Gewindering und Kontaktschraube durch eine Porzellanhülse, welche die letztere vollständig umgiebt, voneinander gut isolierend getrennt; der in Fig. 290 veranschaulichte Einsatz wird in gleicher Grösse für alle Stromstärken von 2 bis 60 Amp. verwendet. Er besteht aus dem Porzellankörper *A*, innerhalb welches die parallel geschalteten Silber-Schmelzdrähte *C* geführt werden, und zwar von der Gewindehülse *E* durch die Kanäle *B*, über die Scheidewände *D* durch den inneren Hohlraum nach dem Mittelkontakt *F*.

An beiden Kontakten sind die Silberdrähte angelötet. Die räumliche Trennung zwischen den beiden Kontakten *E* und *F* erfolgt durch den Porzellankörper *G*, so dass eine Lichtbogenbildung zwischen beiden nicht möglich ist. Der gesamte innere Hohlraum ist mit einem schwer schmelzbaren nicht hygroskopischen Mittel angefüllt. Meistens wird für diesen Zweck Schmirgel verwendet.

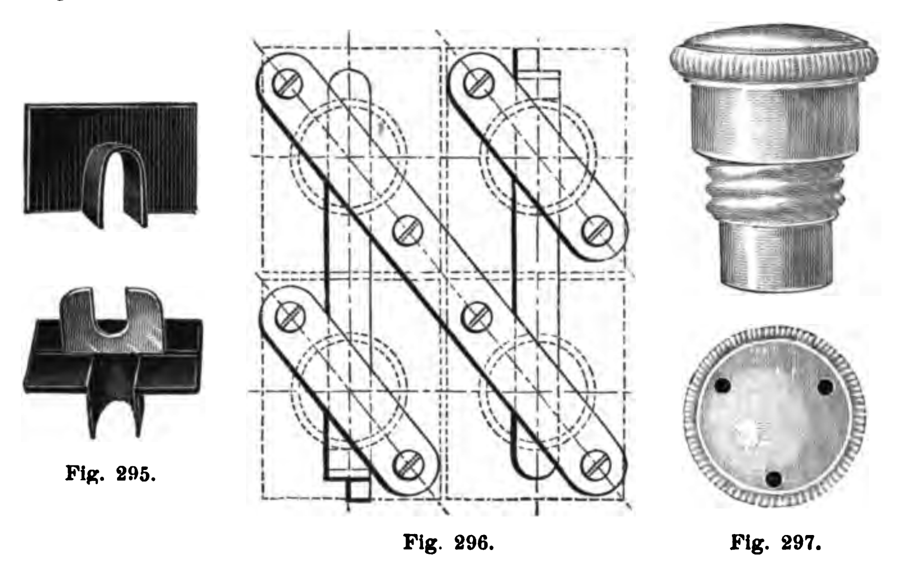


Fig. 295. Fig. 296. Fig. 297.

Die Unverwechselbarkeit wird dadurch erreicht, dass der als Hohlzylinder ausgebildete Stöpselfuss für eine bestimmte Stromstärke mit einer entsprechend hohen Kontaktschraube ausgerüstet wird, weshalb die Kontaktschiene mit den in den Hohlzylinder passenden Kontaktschrauben versehen werden muss, um Kontakt zu erzielen. Diese Anordnung ist des näheren aus Fig. 291 zu ersehen.

403. Anordnung der Elemente.

Die Sicherungselemente können aneinandergereiht und zu Verteilungssicherungen in beliebiger Form und für alle Verteilungssysteme zusammengestellt werden, und zwar nicht nur die Elemente gleicher Grösse. Wie Fig. 292 zeigt, sind Elemente der drei üblichen Formen aneinander gereiht.

Um dies zu ermöglichen, werden besondere Verbindungsstücke angefertigt. Fig. 293 erläutert diese noch näher. Fig. 294 gewährt einen Überblick über die Überlegenheit des neuen gegenüber dem alten Sicherungsmaterial, und zwar ist neben das alte Modell der Edison-Sicherung zum Vergleich stets das neue gesetzt.

Nach vollendeter Montage bleiben an den Leitungen noch einige stromführende Metallteile frei. Um diese zu verdecken, werden Isolierteile

(Fig. 295) mit Hilfe einer an ihnen befestigten Metallscheibe unter den Abschlussschrauben festgeklemmt und verdecken nunmehr den Anschluss sicher, so dass eine Berührung stromführender Teile auch an diesen Stellen ausgeschlossen ist.

Um eine bequeme Montage, auch ein leichtes Aneinanderreihen der Elemente zu ermöglichen, sind besondere Dübelkonstruktionen geschaffen (Fig. 296).

Für den Fall, dass aus irgend einem Grunde ein Stromkreis auf längere Zeit stromlos gemacht werden soll und infolgedessen die Schmelzeinsätze herausgeschraubt werden, können blinde Stöpsel (Fig. 297) eingesetzt werden. Somit sind auch während solcher Unterbrechungen stromführende Teile verdeckt. Um eine unberufene Lösung dieser Verschlüsse auszuschliessen, können sie plombiert werden, zu welchem Zweck im Deckel drei Löcher angebracht sind.

3. Normal-Edison-Sicherung (Mix & Genest).

404. Konstruktion der Stöpsel und Elemente.

Die Anordnung dieser als Normal-Edison-Sicherungen bezeichneten Elemente für unverwechselbare Stöpsel und maximal 20 Amp. lassen Fig. 298 u. 298a erkennen. Der Gewindekorb ist fest in die zu einem Ring geschlossene Vertiefung eines Porzellansockels eingebaut und wird von dem mit Kittmaterial aufgeschraubten Porzellanring überragt. Nach dem Zusammenbau wird der Gewindekorb genau auf seine normale Höhe herabgedrückt. Ein- und zweipolige Modelle haben Pfeile aufgepresst, zur Kontrolle der Richtung für den Anschluss der Leitungen, damit der Gewindekorb erst dann Strom bekommt, wenn der Sicherungsstöpsel das zentrale Stromschlussstück berührt. Bei dem zweipoligen Modell für Steigeleitungen ist dasselbe durch Verbindung des Zuleitungsstückes mit den zentralen Stromschlussstücken erreicht.



Fig. 298.

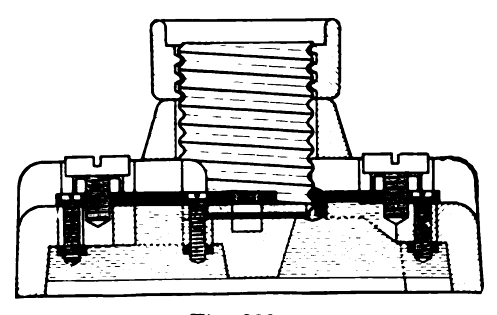
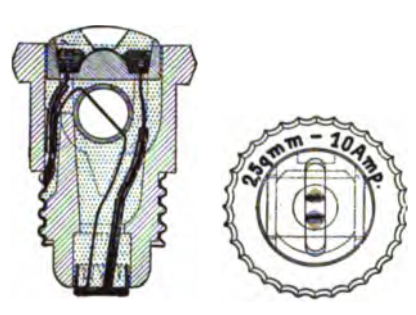


Fig. 298a.

Die in Fig. 299 dargestellten Sicherungsstöpsel kommen hierzu zur Verwendung. Die Unverwechselbarkeit wird durch die in der Höhe verschiedenen Kontaktschrauben erreicht, denen sich die Normallängen der Stöpsel anpassen. Diese Normallängen werden durch ein besonderes Verfahren stets genau gleich hergestellt. Die Länge des abzuschmelzenden Teiles des Silberschmelzdrahtes wird durch ein quer aufgeschobenes Röhrchen genau begrenzt. Dieser begrenzte Teil des Silberdrahtes ist ausserdem von funkenlöschendem Material umgeben und der übrige Teil in Gips

eingebettet. Als Kennzeichen, dass der Sicherungsstöpsel unbrauchbar geworden ist, dient ein dem Silberdraht parallel geschalteter, von aussen sichtbarer Kontrolleiter, welcher unmittelbar nach dem Durchschmelzen der Hauptsicherung durchgeht.

Für die Ausführung aller nur möglichen Sicherungsschaltungen ist das Universal-Sicherungselement Fig. 300 konstruiert. Von der vorher beschriebenen Form abweichend, sind Grundkörper und Deckel zu einem Sockel vereinigt. Ein geschlossener Querkanal nimmt die Hauptschiene auf, während senkrecht dazu zwei geschlossene Kanäle für die Ableitungen den Sockel durchziehen. Letztere sind genügend gross, um die Drähte mit Isolierung aufnehmen zu können. Der Gewindekorb wird in den mit Gewinde versehenen Sockel eingeschraubt und verkittet. Ein überstehender Porzellanrand schliesst die Metallteile des eingeschraubten Stöpsels sicher ein. Hauptschiene und Ableitungsstück sind noch besonders durch Glimmer voneinander isoliert. Sämtliche Drahtanschlüsse geschehen in Buchsen vermittels Klemmschrauben. In die Ableitungsbuchse ist eine Metallhülse eingesetzt, durch



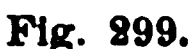


Fig. 299.

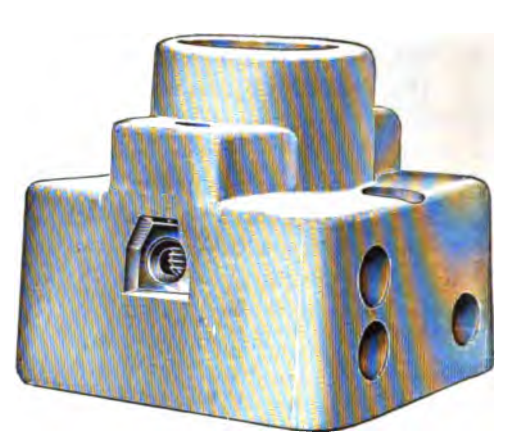


Fig. 300.

welche die Klemmschraube geht, um einen sicheren Anschluss an Drähte geringeren Querschnittes zu bewirken. Bei Verwendung grösserer Querschnitte wird die Hülse herausgenommen und die äussere Buchse zum Anschluss benutzt. Ein schräger Kanal zu einer Klemme der Hauptschiene gewährt die Möglichkeit, ein solches Element auch als gewöhnliche Durchgangssicherung zu verwenden. Das Universal-Sicherungselement wird für rückwärtigen Leitungsanschluss auch mit Gewindebolzen und Muttern ausgeführt.

405. Anordnung der Elemente.

Aus den im vorstehenden beschriebenen Elementen können auch Abzweigsicherungstafeln für jeden vorkommenden Verwendungszweck zusammengebaut werden, von denen eine der gebräuchlichsten Arten in Fig. 301 als Sicherungstafel für Zweileiteranschluss und 2 × 3 Abzweige dargestellt ist. Als Hauptschienen sind hierbei durchgehende Kupferschienen verwendet. Der Anschluss der Zuführungskabel geschieht in besonderem Isolations-Anschlusskasten. Die Schienen werden durch Porzellanisolatoren überbrückt, wodurch gleichzeitig die herüberzuführenden Kabel eingeschlossen werden. Die mit Durchführungslöchern versehenen Porzellanwände werden durch Schrauben gegen Porzellanwinkel gezogen, wodurch auch die Pappmachékappe festgeklemmt wird.

406. Absolute Unverwechselbarkeit.

Es sei noch die Konstruktion von unverwechselbaren Schmelzeinsätzen wiedergegeben, die Mix & Genest demnächst auf den Markt zu bringen gedenken und deren Unverwechselbarkeit als absolut bezeichnet wird, da sie nicht nur unverwechselbar gegen Strom nach oben oder unten, sondern es

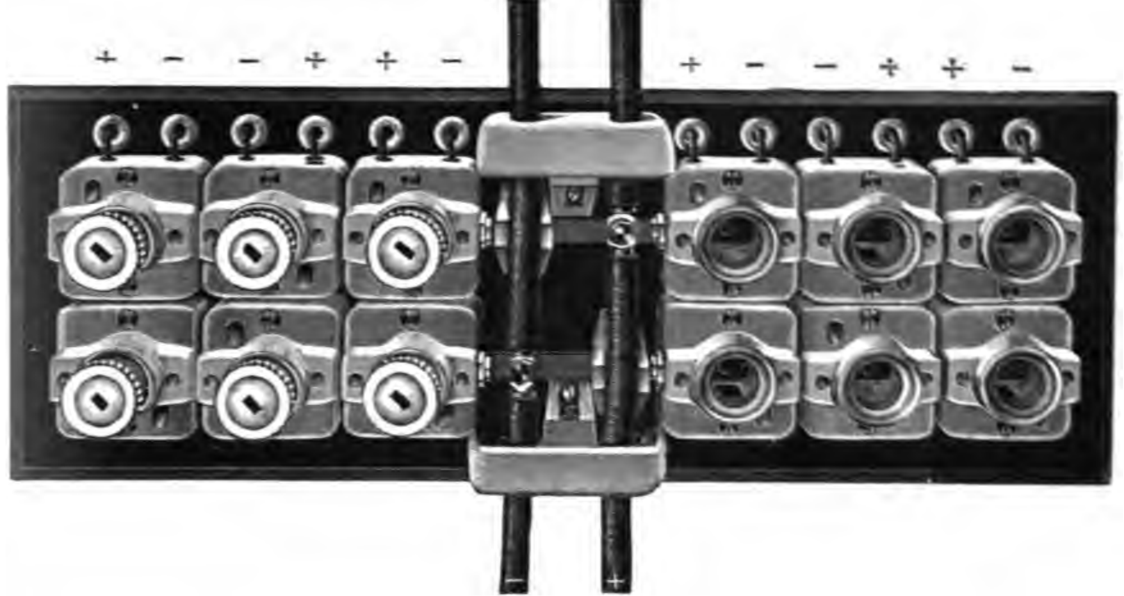


Fig. 301.

auch gegen Spannung ist. Nach Dreefs wird diese Anordnung wie folgt beschrieben:

Die absolute Unverwechselbarkeit (Fig. 302) besteht im Prinzip aus einem Profilring *a*, welcher in dem Gewindekorb des Sicherungssockels eingeschraubt und aus einer Profilplatte *b*, welche mit dem Mittelstromschlussstück *m* des Gewindestöpsels fest verbunden ist. Der Profilring *a* besitzt einen aus drei Kreisbogen *c*, *d*, *e* von verschiedenem Radius zusammengesetzten Bodenausschnitt *f*. Die Profilplatte *b* hat einen ebenfalls aus drei

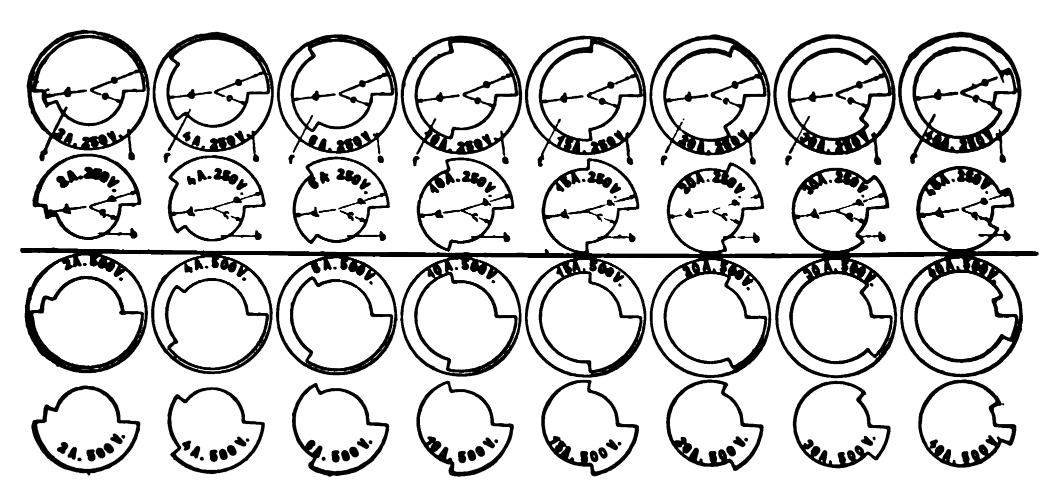


Fig. 302.

Kreisbogen c_1, d_1, e_1 von solchem Radius gebildeten Umfang, dass dieselbe leicht in den zugehörigen Bodenausschnitt des Profilringes passt. Bei allen drei Kreisbogen bleiben die Radien für eine ganze Anzahl verschiedener Stromstärken und Spannungen die gleichen. Durch Veränderung der Länge des mittleren Kreisbogens nach beiden Seiten ändert sich gleichzeitig die Länge des inneren und äusseren Kreisbogens. Hierdurch entsteht immer eine neue Form, die sich nie mit einer nachfolgenden oder vorhergehenden deckt.

Wie aus der Zeichnung zu ersehen, ist es leicht, eine grosse Anzahl von Unverwechselbarkeiten zu schaffen. So zeigen beispielsweise die über der Mittellinie befindlichen acht Anordnungen solche für die Normalstromstärken von 2 bis 40 Amp. und 250 Volt Maximalspannung. Auf sehr einfache Art und Weise kann die doppelte Anzahl Unverwechselbarkeiten erzielt werden, indem der Ausschnitt in dem Profilring von der entgegengesetzten Seite in derselben Grösse und Form gemacht und die zugehörige Profilplatte umgekehrt auf dem Gewindestöpsel befestigt wird. Diese Anordnung ist auf

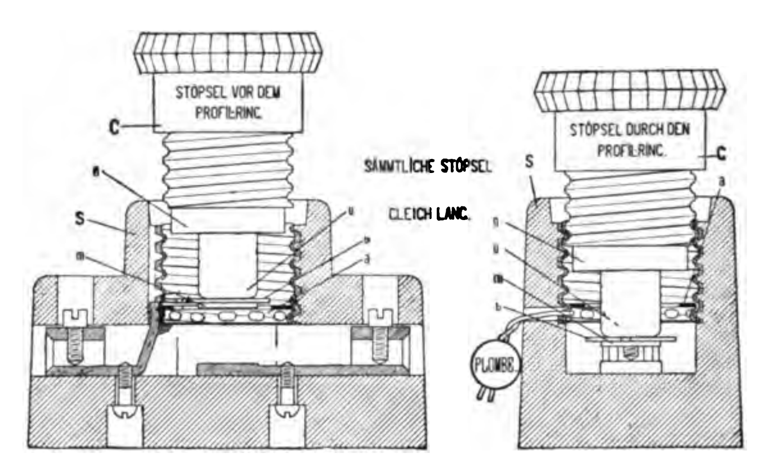


Fig. 303.

der Zeichnung unter der Mittellinie für die gleichen Stromstärken wie oben, aber für die Maximalspannung von 500 Volt zu sehen. Es sind insgesamt für sechzehn Gewindestöpsel verschiedener Stromstärke und Spannung absolute Unverwechselbarkeiten festgelegt, ohne dass es möglich ist, auch nur einen einzigen Gewindestöpsel in einen anderen Sockel einzubringen als in den zugehörigen.

Der Sicherungsstöpsel *S* (Fig. 303) ist von bekannter Konstruktion, nur die Plombe ist eine erweiterte Neuerung. Der bis auf den Grund desselben einzuschraubende Profilring *a* ist solid aus Blech leicht und billig herzustellen und wird mit der Normalstromstärke und Maximalspannung gezeichnet. Dieser Profilring soll der bekannten Ergänzungsschraube für unverwechselbare Edison-Stöpsel entsprechen, ist aber billiger als diese. Die zwischen dem Mittelstromschlussstück *m* und dem unteren Ende *u* des Gewindestöpsels *G* fest angebrachte Profilplatte *b* wird einfach aus Blech geschnitten und auf derselben ebenfalls die Stromstärke und Spannung eingeprägt. Der Gewindestöpsel musste noch einen zylindrischen Ansatz *n* erhalten, um bequem und leicht die an demselben befindliche Profilplatte durch den im Sicherungssockel eingeschraubten Profilring zu bringen. Durch diesen Ansatz erhält

der Gewindestöpsel beim Einsetzen eine sichere Führung und es genügt eine Umdrehung des Stöpsels, um die Profilplatte durch den Profilring gleiten zu lassen. Der Gewindestöpsel wird dann wie jeder gewöhnliche EDISON-Sicherungsstöpsel eingeschraubt.

4. Sicherungssystem der E. A.-G. vorm. SCHUCKERT & Co., Nürnberg.

407. Konstruktion der Elemente u. Patronen. Unverwechselbarkeit.

Fig. 304 zeigt ein Universal-Sicherungselement der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. SCHUCKERT & Co., welches aus einem massiven Porzellanunterteil besteht, in welchem die Anschlüsse liegen. Der Sicherungsstöpsel (Fig. 305) trägt zwei Stifte, die nach Art der Stöpselkontakte in entsprechende Öffnungen des Elementes eingedrückt werden. In der Mitte des Stöpsels befindet sich noch ein eigentümlich geformter Vorsprung, der die Unverwechselbarkeit der Stöpsel bedingt. Der Vorsprung korrespondiert mit einer entsprechenden Öffnung im Element, welche gegen die durch die beiden Stifte gezogenen Mittellinien im bestimmten Winkel verdreht sein muss, um den dazu gehörigen Stöpsel aufnehmen zu können. Nur wenn Element und Stöpsel für die gleiche Stromstärke bestimmt sind, ist es möglich, die Sicherung einzuschieben.

Fig. 306 zeigt die Stellung der Unverwechselbarkeits-Einrichtung für die verschiedenen Stromstärken.

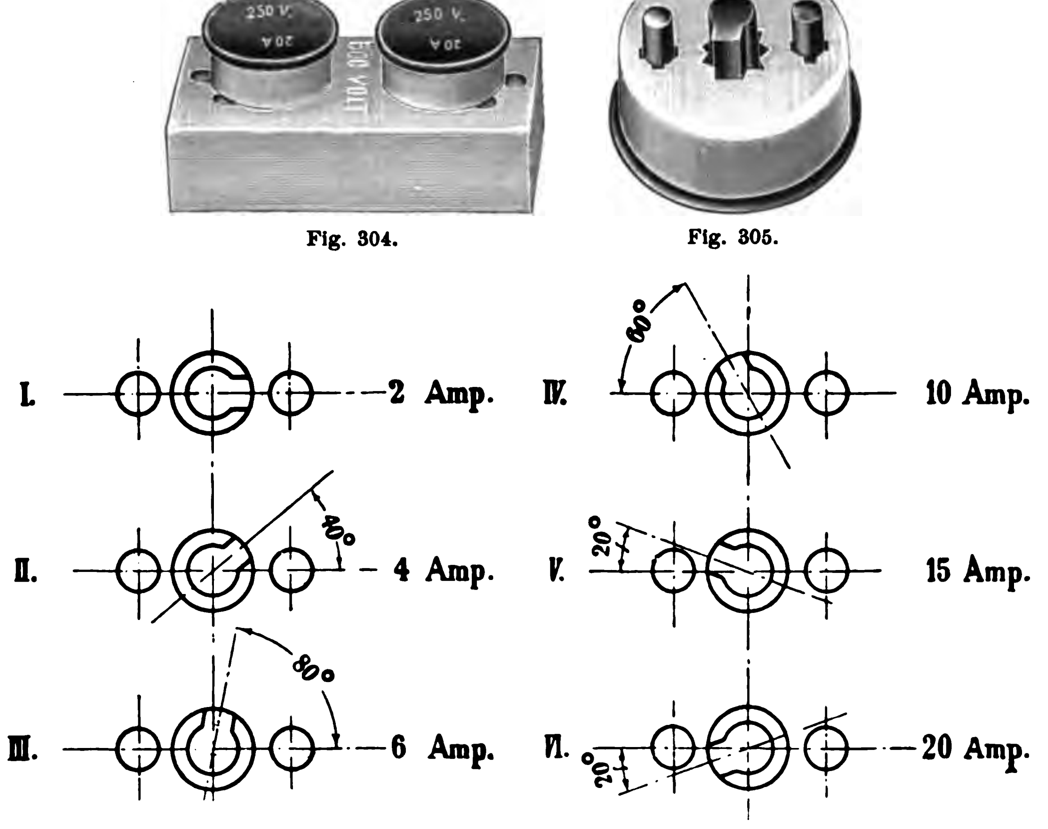


Fig. 304. Fig. 305.

Fig. 306.

408. Auswechselbare Schmelzdrähte.

Die Elektrizitäts-Gesellschaft RICHTER, Dr. WEIL & Co. verwendet Sicherungsstöpsel, welche derart konstruiert sind, dass das Auswechseln durchgebrannter Schmelzdrähte ohne weiteres erfolgen kann.[1]) Der Silberdraht ist an einer Schraube *c* angelötet und wird mit dieser Form als Ersatzteil geliefert. Es ist daher nur erforderlich, diese in den Stöpsel einzuschrauben und das andere Ende des Silberdrahtes unter der innerhalb des Gehäuses befindlichen Klemme zu befestigen (Fig. 307).

Fig. 307.

Sicherungen in Anschlussdosen.

409. Konstruktion und Unverwechselbarkeit.

Lösbare Kontakte müssen am festen Teil allpolig gesichert sein.[2]) Es ist nicht erforderlich, dass die Schmelzeinsätze in den Dosen untergebracht werden, es können auch normale Sicherungen der Anschlussdose vorgeschaltet werden.[3])

Sicherungen für 2, 4 und 6 Amp. dürfen in den Dosen untergebracht sein, darüber hinaus oder auch bei Spannungen über 500 Volt müssen sie ausserhalb der Kontaktvorrichtungen angeordnet werden.

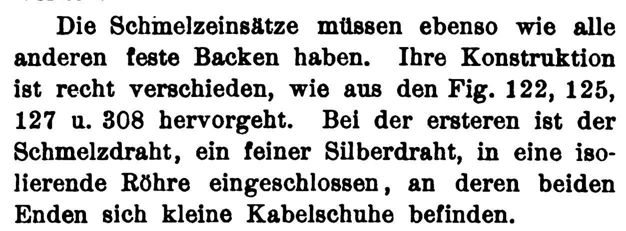




Fig. 308.

Die Schmelzeinsätze müssen ebenso wie alle anderen feste Backen haben. Ihre Konstruktion ist recht verschieden, wie aus den Fig. 122, 125, 127 u. 308 hervorgeht. Bei der ersteren ist der Schmelzdraht, ein feiner Silberdraht, in eine isolierende Röhre eingeschlossen, an deren beiden Enden sich kleine Kabelschuhe befinden.

In Fig. 125 u. 127 vermitteln runde Hülsen aus Messing den Kontakt; beide sind Fabrikate von S. BERGMANN & Co. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft verwendet, wie aus Fig. 308 hervorgeht, ihre EDISON-Stöpsel in vorteilhafter Weise auch für diesen Zweck.

Bei anderen Konstruktionen wird auf einem Pressspanstreifen ein einseitiger oder doppelseitiger Belag aus Stanniol aufgebracht oder es wird ein äusserst dünner Silberdraht um ein Pressspanplättchen gewickelt und die beiden Enden mit einem Messingstreifchen umpresst, wodurch die Schmelzdrähte gehalten werden. Diese Streifen dienen gleichzeitig als Kontaktbacken.

Im D. R. P. No. 142795 wird eine Anschlussdose beschrieben, bei welcher die Befestigungsklemmen für die Sicherungen durch Abnahme des Deckels spannungslos werden.

1) Vgl. auch D. R. P. No. 141256.

2) §§ 32b, 12b der Sicherheitsvorschriften.

3) Vgl. S. 215 dieses Bandes.

Die Sicherungen für starke Ströme.

410. Unverwechselbarkeit. Funkenlöschvorrichtungen.

Für die Schmelzstreifen, welche für starke Ströme bestimmt sind, wäre an und für sich eine Unverwechselbarkeit, wie sie von den Schmelzeinsätzen von 6 bis 30 Amp. verlangt wird, wünschenswert. Indessen stehen diesem Verlangen grosse technische Schwierigkeiten gegenüber, so dass zur Zeit unverwechselbare Sicherungen für starke Ströme noch nicht bestehen.[1]

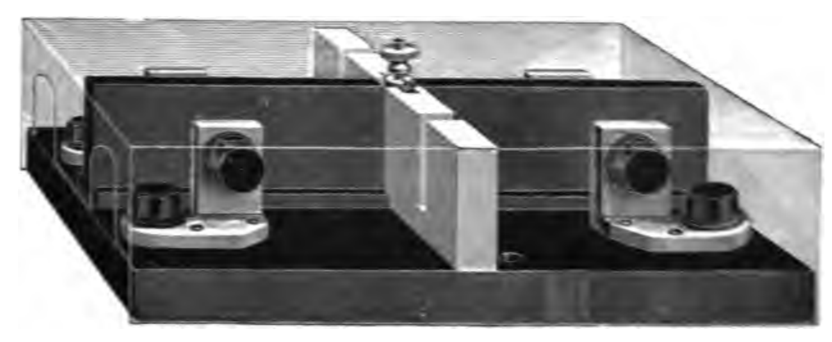


Fig. 309.

Dagegen wird bei allen modernen Sicherungen grosser Wert darauf gelegt, dass der beim Durchschmelzen auftretende Lichtbogen verlöscht, ohne stehen zu bleiben oder die Sicherungsböcke selbst erheblich zu beschädigen. Je höher die Spannung, um so schwieriger wird die Erfüllung dieser Bedingung. In der Regel werden die Backen, in welche die Schmelzstreifen eingesetzt werden, der Spannung entsprechend weiter auseinander gesetzt, oder es werden zwischen diese isolierende Scheidewände eingebaut, die vom Schmelzstreifen überbrückt oder in einer engen Spalte durchbrochen werden (Fig. 309 von Dr. Paul Meyer).



Fig. 310.

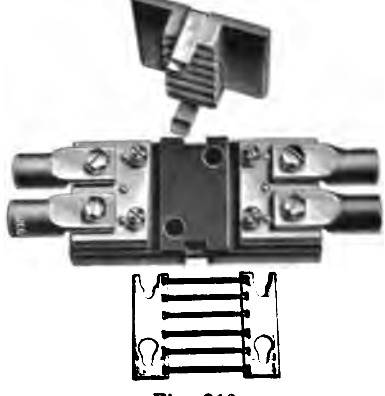


Fig. 310a.

Bei der Verwendung mehrpoliger Sicherungen werden wohl auch noch zwischen den Schmelzstreifen verschiedener Polaritäten isolierende Scheidewände angeordnet, um ein Überspringen des Lichtbogens auf den anderen Pol beim Durchschmelzen eines Streifens zu vermeiden (Fig. 309 u. 315).

1) Vgl. S. 328 dieses Bandes.


Fig. 311.

Bei derartigen von der Union E. G. konstruierten Niederspannungs-Schmelzsicherungen (Type NS) werden die trennenden Wände aus Isoliermaterial zwischen die parallel geschalteten Drähte des Schmelzeinsatzes geschoben, welche gleichzeitig so ausgebildet sind, dass sie als Schutzkappe dienen (Fig. 310).



Fig. 312 a.

Man begnügt sich aber häufig nicht damit, nur durch die Erweiterung der Entfernung zwischen den beiden Anschlussbacken ein sicheres und schnelles Funktionieren der Sicherungen bei Spannungen bis 750 Volt zu erreichen, sondern man hat auch Konstruktionen geschaffen, bei denen der Lichtbogen durch die elektrodynamische Wirkung des Stromes, oder auch durch ein elektromagnetisches Gebläse ausgelöscht wird; drittens wird durch mechanische Mittel der Lichtbogen auseinander gerissen.

Die erstere Art wird von Siemens & Halske bei Freileitungssicherungen verwendet, bei denen (Fig. 311) über den Schmelzstreifen zwei Polhörner angeordnet sind, die in der gleichen Art wirken, wie die auf S. 407 dieses Bandes beschriebenen Hörnerblitzableiter.

In gleicher Art wirkt die in Fig. 313 wiedergegebene Sicherung, die auf einem eigenartig ausgebildeten Isolator montiert ist. Sie kann für Spannungen bis 1000 Volt verwendet werden. Ihr Vorteil besteht darin, dass der Schmelzstreifen auf einem isolierenden Hebel montiert ist und mit diesem in zwei Kontaktstücke eingedrückt wird. Zur Erneuerung des Schmelzstreifens und zur Abtrennung der betreffenden Leitung wird der Einsatz nach Art der Hebelschalter herausgenommen, was um so leichter erfolgen kann, als an einem der Kontakte ein besonderer Drehzapfen angeordnet ist.

Die zweite Art repräsentieren Sicherungen der Union E. G. (Fig. 312), deren Schmelzeinsätze in einem kräftigen magnetischen Felde angeordnet sind,

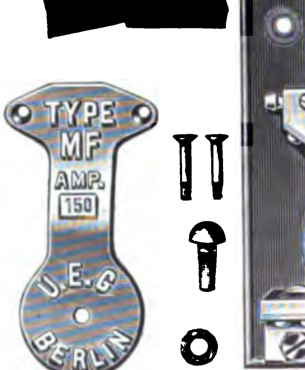






Fig. 312 b.

dessen Kraftlinienrichtung so gewählt ist, dass der Lichtbogen nach oben auseinander getrieben wird.

Die mechanische Zerreissung des Lichtbogens erfolgt nach der Patentschrift No. 115292 dadurch, dass eine gespannte Feder *f* (Fig. 314) mit dem freien Ende *b* einer Sicherung verbunden wird. Hierbei nimmt im normalen Zustand ein stärker gehaltener, z. B. als Öse ausgebildeter Teil *o* des Schmelzdrahtes *s*, der über einen Dorn *d* greift, die Spannung der Zerreissfeder auf. Die beim Auftreten des Lichtbogens sich entwickelnde Hitze schmilzt auch die Öse *o* auf, wodurch die Federkraft in Thätigkeit treten kann. Eine ähnliche Vorrichtung für Hochspannungssicherungen ist auf S. 371 erwähnt.



Fig. 313.



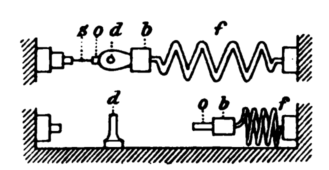


Fig. 314.



Fig. 315.

Nach dem D. R. P. No. 143554 werden die Schmelzeinsätze als geschlossene Röhre ausgebildet, welche mit einem unter Druck stehenden Gas angefüllt werden. Beim Schmelzen des Metalles wird das Gas frei und soll beim Ausströmen den Lichtbogen zum Erlöschen bringen.

411. Anordnung der Schmelzeinsätze.

In den meisten Fällen ist die Anordnung der Sicherungen bis 750 Volt so getroffen, dass die Schmelzeinsätze eingeschraubt werden, so dass beim Einsetzen derselben in den Fällen spannungführende Teile berührt werden müssen, wo der betreffende Leitungszweig nicht abgeschaltet werden kann. Um dieses zu vermeiden, werden sowohl von der Union als auch von Schuckert (Fig. 315) Sicherungen in den Handel gebracht, deren Schmelzeinsätze in Messerkontakte eingeschoben werden, und zwar werden diese letzteren für Stromstärken bis 1200 Amp. hergestellt.

Bemerkenswert ist bei der Sicherung Fig. 315 die Gestalt des Schmelzstreifens. Derselbe ist mehrfach eingeschnitten und die hierdurch gebildeten Abschnitte sind abwechselnd nach verschiedenen Seiten gebogen.

Für die in Fig. 316 dargestellten Sicherungen (zweipolige und Umschaltsicherung) finden Schmelzeinsätze Verwendung, die in Glasröhren eingekittet

wurden. Diese früher überhaupt beliebte Art sollte das Herumspritzen geschmolzener Metallteile vermeiden. Indessen sind die hierbei entwickelten Gasmengen und infolgedessen ihr Druck doch zu gross, als dass das Glas stets standhalten kann. Derartige Sicherungen sind für Niederspannung fast vollständig aufgegeben. An die Stelle des Glases sind zumeist Isoliermaterialien getreten.

Statt der vorher erwähnten Schmelzstreifen verwendet die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft auch für starke Ströme Sicherungspatronen für Ströme bis 400 Amp. (Fig. 317), deren Stichmass beträgt

bei Strömen bis 100 Amp. 110 mm
„ „ „ 200 „ 150 „
„ „ „ 400 „ 200 „



Fig. 316a.



Fig. 316c.



Fig. 316b.

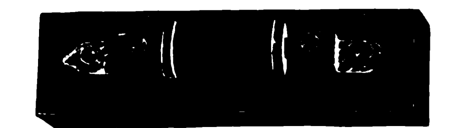


Fig. 317.

Sie sind bestimmt für Spannungen bis 550 Volt bei Gleichstrom und bis 1000 Volt bei Wechselstrom.

Im übrigen gehen die weiteren Abmessungen aus der Tabelle No. 92 auf S. 365 hervor.

Die Dimensionierung einiger anderer Sicherungen ist aus den Tabellen No. 93 u. 94 auf S. 366 ersichtlich, die sich auf Sicherungen der Siemens-Schuckert-Werke beziehen.

412. Sicherungen für Schiffszwecke. Besonders konstruierte und mit Lamellen-Schmelzeinsätzen versehene Sicherungen werden für die Schiffsinstallation der Kaiserl. Marine verwendet und wurden von Kummer gebaut. Dieselben werden in zweiteiligen gusseisernen Kästen untergebracht, deren Deckel durch Gummi abgedichtet wird. Die Schmelzeinsätze sind durch ihre Länge und die Stärke der Anschlussklötze der Lamellen unverwechselbar. Fig. 321 zeigt einen Lichtverteilungskasten, Fig. 322 einen solchen für Kraftzwecke.

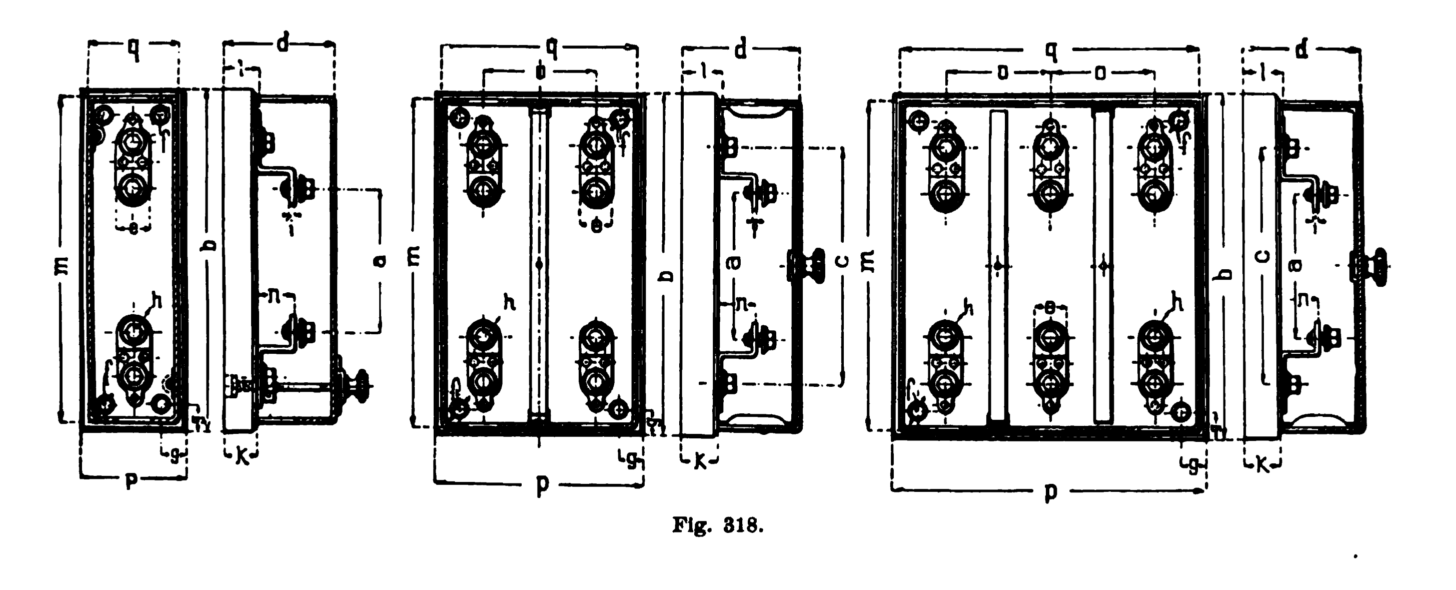


Fig. 318.

Tabelle No. 92.

Gemeinschaftliche Masse															Einpolig			Zweipolig				Dreipolig			
Amp.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	P.-L. No.	p	q	P.-L. No.	p	q	r	P.-L. No.	p	q	r
100	180	260	22	250	24	20	8	20	5/16"	110	4	85	26	30	11 241	70	80	11 244	150	160	80	11 247	230	240	80
200	240	330	22	320	32	20	8	20	3/8"	150	6	85	28	30	11 242	80	90	11 245	170	180	90	11 248	260	270	90
400	310	405	25	395	42	20	8	20	1/2"	200	8	120	33	45	11 243	95	105	11 246	200	200	110	11 249	305	315	110

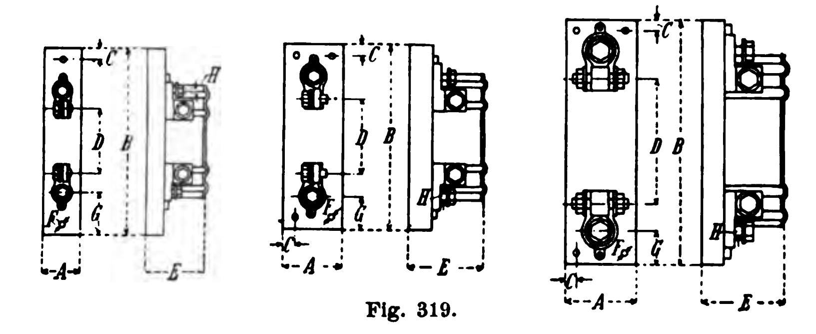


Fig. 319.

Tabelle No. 93.

Sicherungen N.1501 für 250 Volt der Siemens & Halske Aktiengesellschaft.

Type	Ampere	A	B	C	D	E	F	G	H	Gewicht kg
N.1501 a	50	40	200	13	70	62	6	45	6	0·7
N.1501 b	100	64	200	13	80	83	6	35	8	1·3
N.1501 c	200	72	225	12	95	98	7	35	10	2·0
N.1501 d	400	90	275	15	110	120	7	45	13	3·9
N.1501 e	700	115	395	18	200	138	9	53	16	7·5
N.1501 f	1000	130	430	20	200	155	9	60	20	11·2
N.1501 g	2000	150	490	25	200	180	11	75	20	18·2

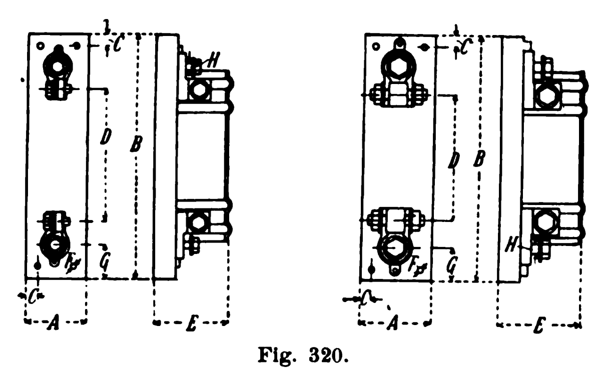


Fig. 320.

Tabelle No. 94.

Sicherungen N.1501v für 750 Volt der Siemens & Halske Aktiengesellschaft.

Type	Ampere	A	B	C	D	E	F	G	H	Gewicht kg
N.1501 va	50	54	320	10	200	75	6	40	6	1·4
N.1501 vb	100	64	320	13	200	88	6	35	8	2·1
N.1501 vc	200	72	330	13	200	98	7	35	10	2·7
N.1501 vd	400	90	365	15	200	120	7	45	13	4·6
N.1501 ve	700	115	395	18	200	138	9	53	16	7·5
N.1501 vf	1000	130	430	20	200	155	9	60	20	11·2
N.1501 vg	2000	150	490	25	200	180	11	75	20	18·2

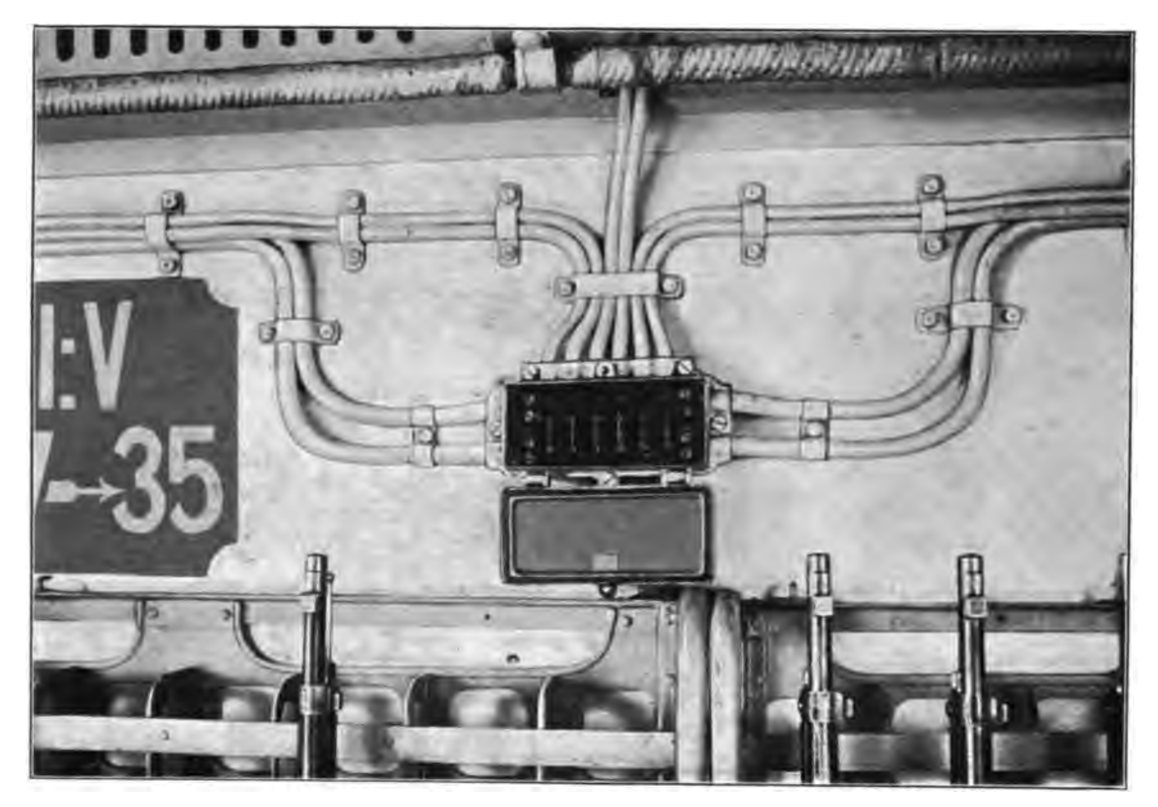


Fig. 321.

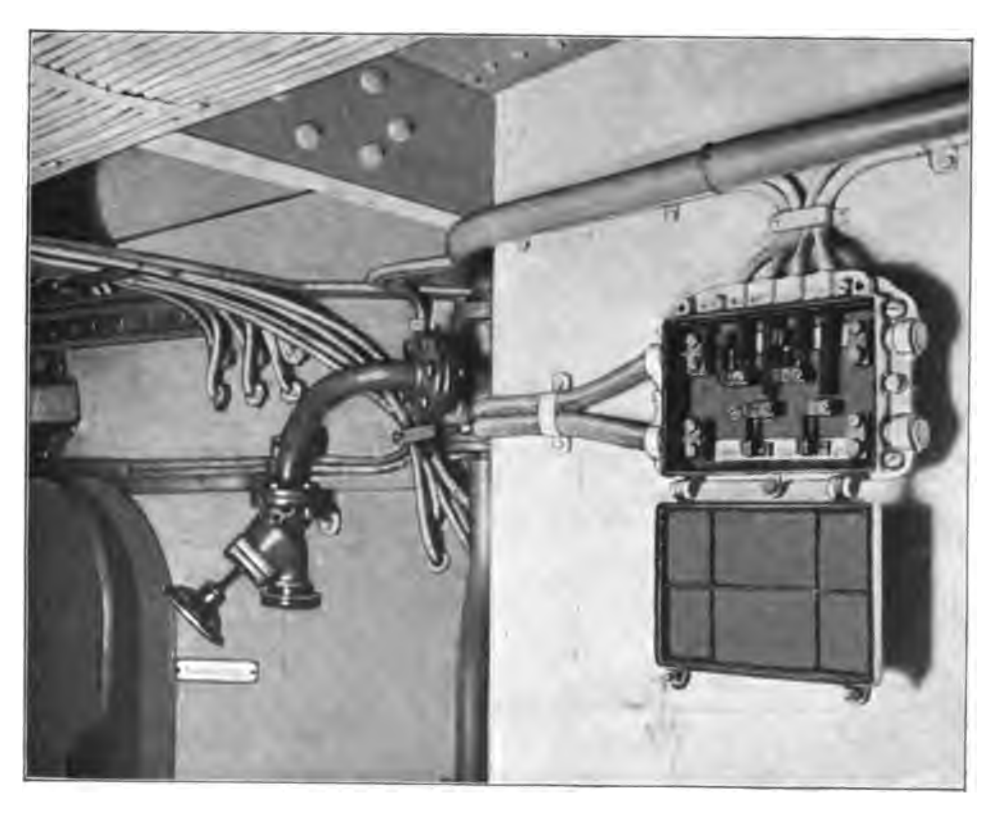


Fig. 322.

Hochspannungssicherungen.

413. Kontakte.

Bei den Hochspannungssicherungen muss entsprechend der höheren Spannung eine wesentlich bessere Isolierung der einzelnen Kontakte eintreten und erfolgt dies allgemein dadurch, dass die Kontakte auf Isolatoren aufgebaut werden, welche die in Frage kommende Spannung auszuhalten imstande sind. Die Schmelzstreifen werden in Messerkontakte eingesetzt, welche auf Isolatoren befestigt werden. Diese Art der Befestigung zeigen in verschiedener Ausführung Fig. 323 (Siemens-Schuckert-Werke), Fig. 326 (Lahmeyer), Fig. 332 (Schuckert), Fig. 324 (Allgem. Elektr.-Ges.).



Fig. 323 a.

414. Röhrensicherungen von Siemens & Halske.

Die Hochspannungs-Röhrensicherungen (Siemens & Halske A.-G.) bestehen aus einer Reihe parallel geschalteter Drähte, welche durch isolierende Röhren geführt werden und um welche gemeinsam eine Glasröhre angeordnet ist (Fig. 38). An beiden Enden ist um die letztere ein Metallring gelegt, an welchen die Schmelzdrähte angeschlossen werden und an welchem sich gleichzeitig

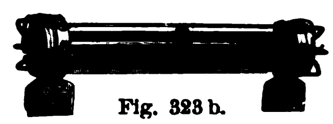


Fig. 323 b.



Fig. 323 c.



Fig. 323 d.

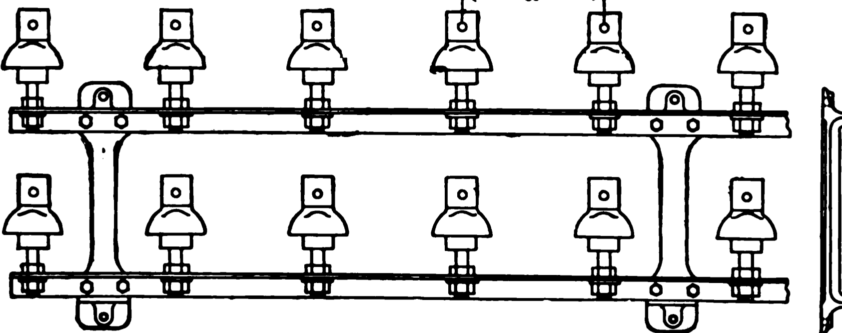


Fig. 323 e.

Messerkontakte befinden. Die isolierenden Röhren sind an beiden Enden offen, so dass beim Abschmelzen die Verbrennungsgase mit grosser Heftigkeit aus beiden Enden herausgeschleudert werden, wodurch der Lichtbogen sofort auseinander gerissen wird. Da somit die Gase freien Abzug haben und durch die Luftbewegung schnell abgeführt werden, findet auch selbst bei heftigen Kurzschlüssen äusserst selten eine Zertrümmerung des ganzen Schmelzeinsatzes statt. Es ist daher nur ein Ersatz der billigen Schmelzdrähte erforderlich. Um eine gute Ventilation der Schmelzeinsätze zu erzielen, ist darauf zu achten, dass dieselben nie horizontal angeordnet werden; die angestellten Versuche haben ergeben, dass eine Neigung von 15° gegen die vertikale am vorteilhaftesten ist. Die zusammengebauten zwei- und dreipoligen Hochspannungsröhrensicherungen werden daher auf Konsolen aufgebaut, bei denen sich diese Neigung der Einsätze ergiebt, wenn die Konsolen an einer vertikalen Wand montiert werden (Fig. 323).

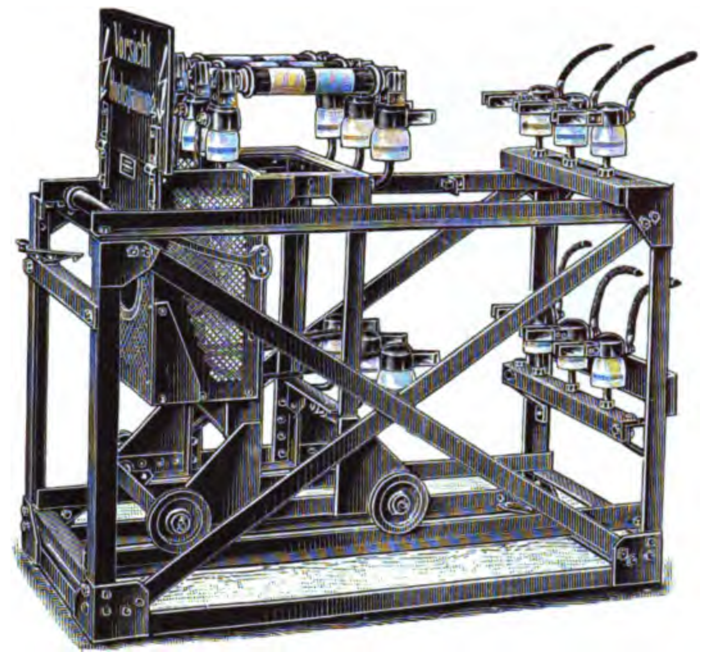


Fig. 324 a.

Ist es erforderlich, eine grössere Anzahl von Hochspannungssicherungen nebeneinander anzuordnen, so werden auf besonderen Konsolen Winkeleisen montiert, auf denen dann die Kontaktteile für die Sicherungen aufgebracht werden (Fig. 323 e). Hierbei ist darauf zu achten, dass bei Spannungen bis 6000 Volt die geringste Entfernung *a* der Sicherungen voneinander 200 mm und bei

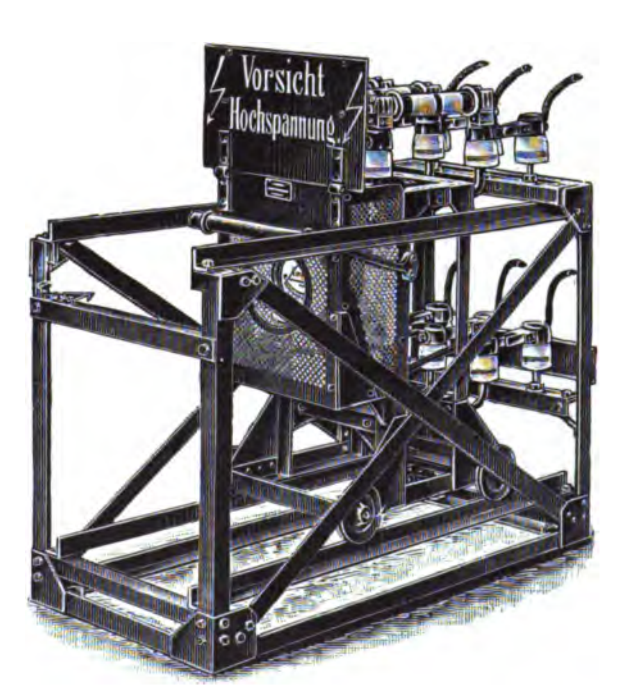


Fig. 324 b.

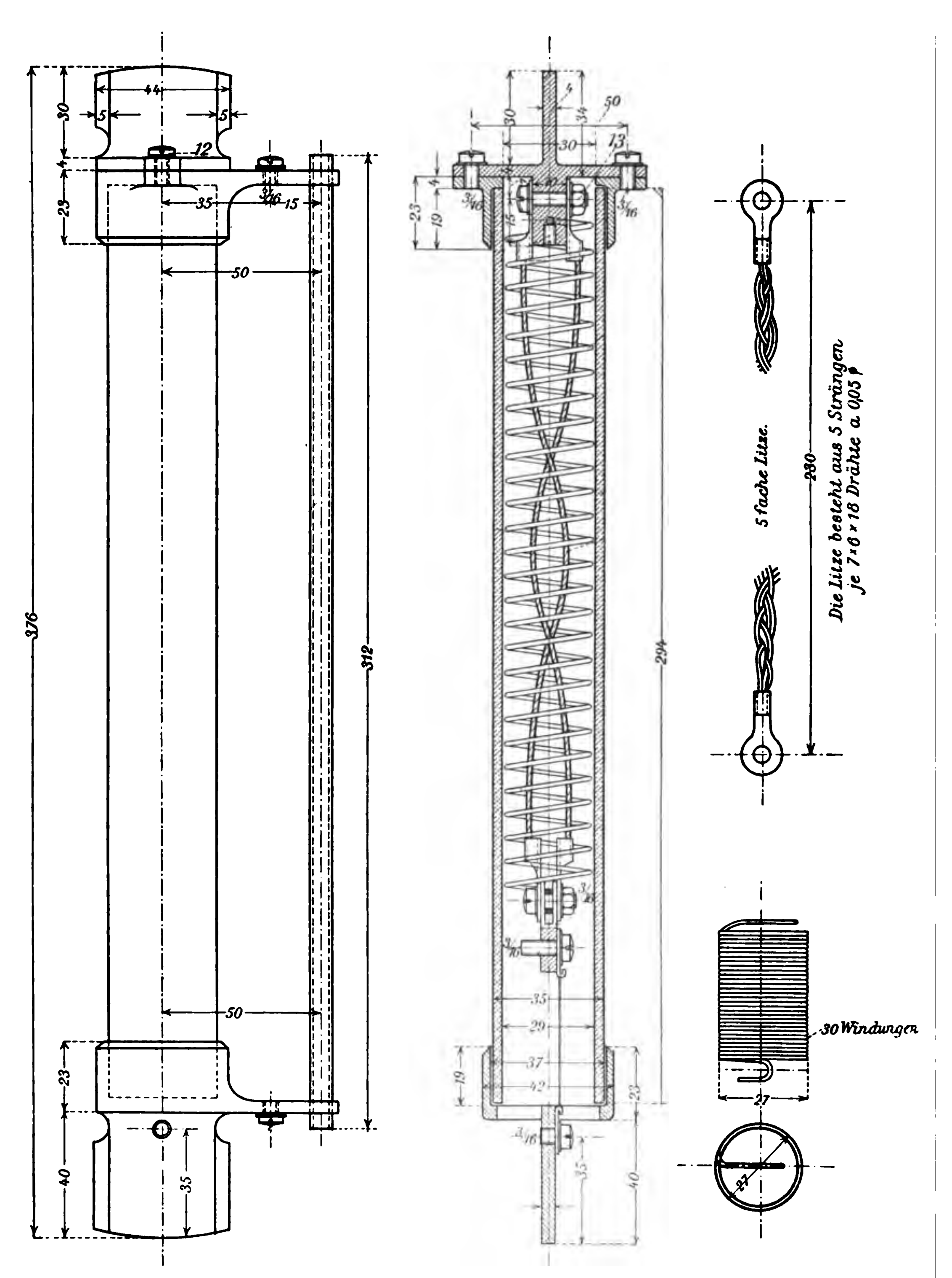

5 fache Litze.
Die Litze besteht aus 5 Strängen je 7×6×18 Drähte a 0,05 φ
30 Windungen

Fig. 325.

Spannungen über 6000 Volt mindestens 250 mm betragen muss. In der Richtung, in welcher die Verbrennungsgase herausgeschleudert werden, dürfen weder brennbare, noch stromführende Teile angeordnet werden, da sich namentlich bei Kurzschlüssen in der Auspuffrichtung eine längere Stichflamme bilden kann.

415. Ausfahrbare Sicherungen.

Fig. 324 a u. b zeigen ausfahrbare Sicherungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, und zwar einmal im eingeschalteten, das andere Mal im ausgeschalteten Zustand. Dieselben haben den Zweck, ein gefahrloses Einsetzen neuer Schmelzsicherungen zu gestatten.

416. Schmelzeinsätze von Lahmeyer & Co., Frankfurt a. M.

Die konstruktive Durchbildung eines schon früher erwähnten Prinzipes für Hochspannungssicherungen zeigt die Zeichnung Fig. 325. Es ist ein Schmelzeinsatz der Elektrizitäts-Gesellschaft, vormals Lahmeyer & Co. Der Schmelzdraht wird durch eine Feder gespannt gehalten, welche im Moment des Durchschmelzens den Lichtbogen rasch auseinander reisst. Bemerkenswert ist, dass parallel zum Hauptschmelzdraht ein Hilfsdraht angeordnet ist, welcher nach dem ersteren durchschmilzt.

Die Anordnung einer dreipoligen Sicherung zeigt Fig. 326.

417. Hörnersicherungen von Voigt & Haeffner.

Bei den Sicherungen mit Hörnern, wie sie bei Hörnerblitzableitern üblich, befindet sich der Schmelzstreifen unterhalb von zwei Hörnern. Der Lichtbogen wird beim Durchschmelzen von den Hörnern übernommen und erlischt auf gewöhnlichem Wege.

Vorteile erreicht man aus dieser Einrichtung durch die Billigkeit, das leichte Auswechseln der Schmelzeinsätze, welche nach Art der Niederspannungspatronen ausgeführt sind und durch die Betriebssicherheit. Letztere besonders dadurch, dass die Hörner sich nicht sehr weit oberhalb der Schmelzeinsätze befinden und dass der Abstand der beiden Hörner voneinander bedeutend geringer ist, als die Länge des Schmelzstreifens. Dieser selbst wird am sichersten aus Silber hergestellt.

Die in Fig. 327 u. 328 dargestellten Typen von Voigt & Haeffner bewähren sich für Schaltanlagen und werden auf dem Eisengerüst der Schaltanlage montiert. Die Hörner sind an den seitlichen Anschlussstücken fest angebracht. Das Auswechseln der Patrone geschieht völlig gefahrlos, indem der Hebel, welcher die Patrone auf besonderen Isolatoren trägt, aus den Kontakten herausgenommen wird.

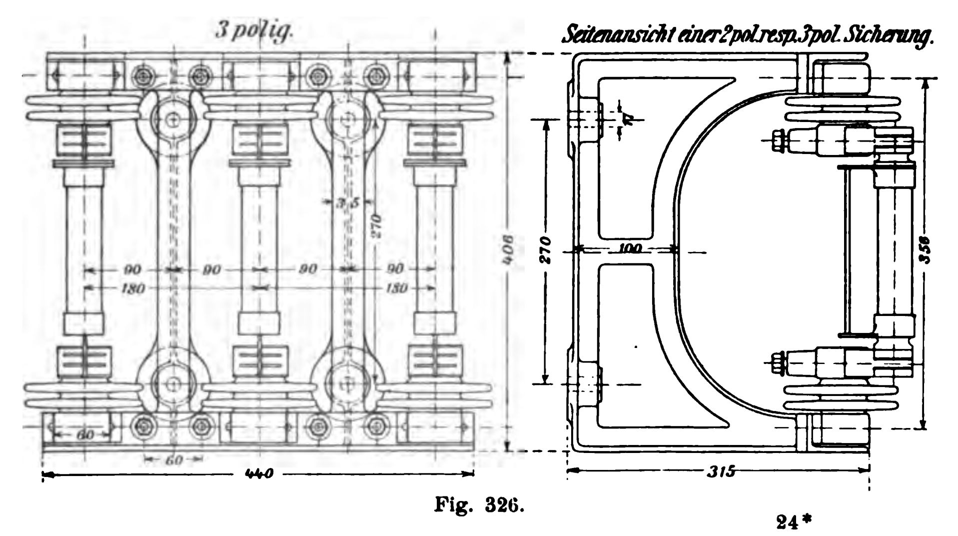


Fig. 326.

Fig. 327 a.

Fig. 327 b.

Fig. 328 a.

Fig. 328 b.

418. Quecksilber-Sicherung.

Bei dieser Sicherung[1]) (Fig. 329) ist das Quecksilber in einer oder mehreren vollständig unschmelzbaren, nichtleitenden Kapillarröhren eingeschlossen und wird bei Überschreitung der zulässigen Stromstärke durch den erzeugten Lichtbogen und hohen Druck auseinander getrieben. Die Kapillarröhren haben eine derartige Abmessung, dass die auseinander getriebenen Quecksilbersäulen durch die Kapillarität der Röhren in diesem Zustande beliebig lange verharren, jedoch mittels eines mechanischen Druckes von aussen her wieder in den ursprünglichen Zustand versetzt werden können.

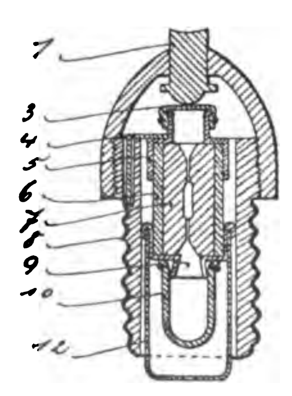


Fig. 329.

Die Quecksilbersäulen sind an den beiden Enden des Kapillarrohres verstärkt und mittels Gummikappen (*b* u. *c*) oder dergl. federnd abgeschlossen, um in bekannter Weise dem inneren Druck genügend

1) D. R. P. No. 138 229.

nachgeben zu können und gleichzeitig von aussen (*a*) einen Druck auf die Quecksilbersäule zu gestatten, wodurch das Einschalten der Sicherung möglich wird.

Die Bohrung des Kapillarrohres ist mit einer Verjüngung versehen, wodurch die Unterbrechungsstelle auf einen bestimmten Punkt (Fixpunkt) gelegt werden kann.

419. Ferranti-Sicherungen.

Ferranti hat für Hochspannung die in Fig. 330 gezeichnete Sicherung konstruiert.[1]) Ein Porzellangefäss, welches in der Mitte eine Scheidewand enthält, wird zu beiden Seiten derselben mit Bronzestücken ausgerüstet, in welche je vier mit Öl gefüllte Porzellanrohre eingesetzt sind. Durch das Metallstück führen zwei stromführende Spindeln, auf welchen drehbar je vier Spulen, entsprechend der Anzahl der Zylinder, aufgebracht sind. Zwischen den beiden stromführenden Spulen sind die, im vorliegenden Fall vier, parallel geschalteten Schmelzdrähte eingespannt und an den gegenüber liegenden Spulen verlötet. Die Lage des Schmelzdrahtes ist in Fig. 330 erkennbar. Schmilzt nunmehr ein Draht, so werden die Spulen durch besondere Federn

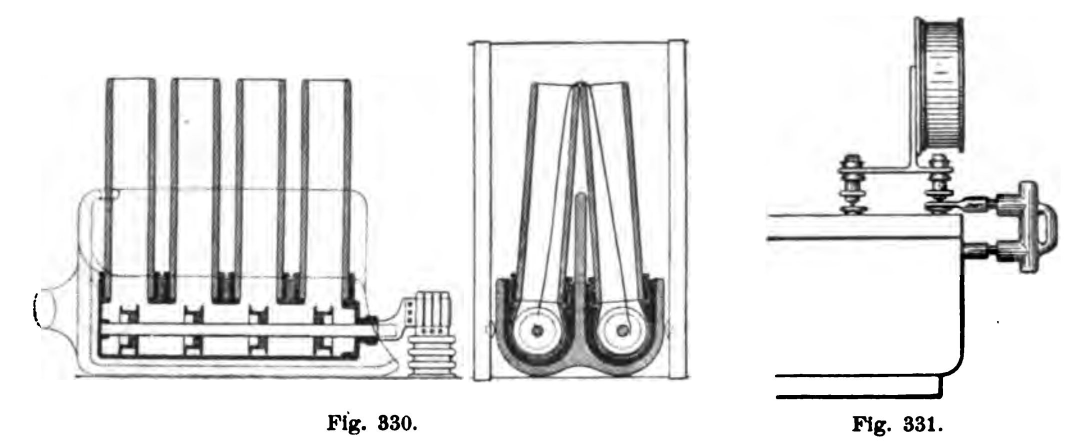


Fig. 330. Fig. 331.

in rasche Umdrehung versetzt. Hierdurch wird der Schmelzdraht aufgewickelt und rasch in das im Innern des Rohres befindliche Öl gezogen, in welchem der bei der Unterbrechung auftretende Lichtbogen erstickt wird.

Die Anzahl der Rohre ist von der in Betracht kommenden Betriebsspannung abhängig.

Auch zur Sicherung von Voltmetern für höhere Spannungen, insbesondere für elektrostatische Voltmeter hat Ferranti eine interessante Sicherung angegeben, deren Anordnung Fig. 331 zeigt. Sie besteht aus einem kleinen Glasrohr, welches mit angesäuertem Wasser angefüllt ist, das aber nur geringe Leitfähigkeit besitzt. Das Röhrchen ist mit einem Ventil versehen, welches ähnlich den für Pneumatics verwendeten ist. Seitlich sind in das Rohr zwei Platindrähte eingeschmolzen, die mit den Klemmen des Voltmeters verbunden werden. Das ganze Rohr hat einen Griff zum Einstecken und ist in einem Porzellankörper untergebracht. Tritt nun im Instrument ein Kurzschluss auf, so wird das Wasser unter der Einwirkung des Stromes zum Sieden gebracht; der sich entwickelnde Dampf öffnet das Ventil, durch welches Dampf und Flüssigkeit entweichen. Hierdurch wird der Stromlauf zwischen den beiden Platindrähten unterbrochen.

1) The Electrician, London, Oktober 1902.

420. Sicherungen von Örlikon.

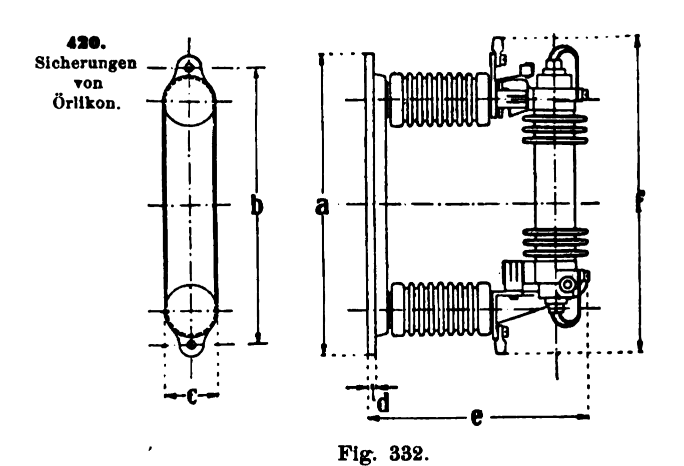


Fig. 332.

Die Hochspannungs-Sicherungen von Örlikon sind derart konstruiert, dass die Unterbrechung des Stromes, genau wie es bei den auf Seite 248 beschriebenen Zugschaltern geschieht, in einer engen Kammer stattfindet. Im Augenblick des Unterbrechens verhindern die durch den Lichtbogen erzeugten Gase den Eintritt frischer Luft und dadurch das Fortbestehen des Lichtbogens. Sie werden vertikal angeordnet und sind oben geschlossen. Die beim Abschmelzen des Drahtes entstehenden Gase können, nachdem sie sich an den Metallbrücken unter Glühtemperatur abgekühlt haben, unten durch eine verhältnismässig kleine Öffnung austreten.

421. Dimensionen von Hochspannungssicherungen.

Tabelle No. 95.

Sicherungen für 5000 Volt der Elektr.-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg.

Fig. 332.

Masse der Sicherungen für 5000 Volt.

Ampere	Bestell-No.	a	b	c	d	e	f
Messtransf.	13 251	274	250	75	8	210	185
6	13 220	284	256	75	10	210	230
15	13 221	296	268	75	10	220	280
30	13 222	306	278	75	10	230	320
60	13 223	332	302	75	12	255	365
100	13 224	366	338	75	13	280	415
200	13 225	392	364	75	13	310	480
400	13 226	419	387	75	13	335	560

Masse der Sicherungen für 10000 Volt.

Ampere	Bestell-No.	a	b	c	d	e	f
Messtransf.	13 252	324	296	86	10	215	220
6	13 230	334	300	86	11	240	260
15	13 231	354	320	86	11	245	320
30	13 232	370	334	86	12	260	365
60	13 233	396	360	86	12	290	420
100	13 234	430	390	86	13	315	460
200	13 235	455	415	86	13	340	525

Masse der Sicherungen für 20000 Volt.

Ampere	Bestell-No.	a	b	c	d	e	f
Messtransf.	13 253	362	330	85	11	270	260
6	13 240	374	340	85	11	300	300
15	13 241	404	370	85	11	305	370
30	13 242	426	390	85	12	320	420
60	13 243	456	420	85	12	340	470
100	13 244	490	450	85	12	345	520

Schutzvorrichtungen gegen Uberspannungen und atmosphärische Entladungen.

422. Allgemeines.

Mit der immer weiter um sich greifenden Ausdehnung elektrischer Anlagen und insbesondere derjenigen von Fernleitungen wachsen auch die Gefahren, denen derart weitverzweigte und über weite Ländereien sich erstreckende Leitungsnetze ausgesetzt sind. An erster Stelle stehen hier die auf mancherlei Ursache zurückzuführenden Spannungserhöhungen, die sowohl in Freileitungen als auch in Kabelnetzen auftreten und an irgend einer Stelle die Isolierung durchbrechend, schwere Schäden herbeiführen können. Um diese zu verhüten sind mannigfaltige Mittel angegeben, aber es kann füglich nicht behauptet werden, dass eines derselben einen unter allen Umständen ausreichenden Schutz gewährleistet. Da alle Fernleitungsstrecken fast ausschliesslich mit Wechselstrom betrieben werden, so treten derartige Überspannungen auch meistens nur in Wechselstromanlagen auf.

Die Entladungen und ihre Ursachen.

423. Auftreten von Überspannungen.

Überspannungen können in einem Leitungsnetze entweder infolge elektrischer Ladung aus der Atmosphäre, Resonanzwirkungen und durch den direkten Übertritt von Hochspannungsströmen in Niederspannungskreise auftreten.

Die ersteren werden durch dynamische Wirkungen von Blitzentladungen, durch Influenz in der Nähe befindlicher Gewitterwolken und durch langsame oder dunkle Entladungen hervorgerufen, während in den übrigen Fällen der Betriebsstrom die Ursache bildet.

424. Blitzschläge in Fernleitungen.

Direkte Blitzschläge in die Leitungen sind überaus selten, ihre Wirkung ist aber, wenn sie vorkommen, verheerend und ihre unschädliche Ableitung zur Erde unmöglich, so dass es auch keinen Zweck hat, die konstruktive Durchbildung von Blitzschutzvorrichtungen in des Wortes eigentlicher Bedeutung weiter zu verfolgen.

Trifft ein Blitz die Leitungen, so folgt er ihnen in der Regel nicht, da die Widerstandsverhältnisse der Leitungen dem Durchgang des Blitzes entgegenwirken, geht vielmehr nach Zertrümmerung der in der Nähe befindlichen Isolatoren, Leitungen und Apparate über die Gestänge zur Erde.

425. Statische Ladungen benachbarter Leitungen.

Es entstehen aber bei jedem Potentialausgleich in der Atmosphäre statische Ladungen der benachbarten gegen Erde isolierten Leitungen, deren Entstehung von MÜLLER wie folgt begründet wird:[1])

„Zunächst muss man sich mit der Thatsache vertraut machen, dass die elektrische Ladung der Erdoberfläche an verschiedenen Stellen sehr verschieden ist, da dieselbe unter der wechselnden Influenzwirkung der Atmosphäre steht. Die Erde mit ihrer atmosphärischen Hülle verhält sich dabei wie ein Kondensator, dessen einer Beleg die Erdoberfläche, dessen Dielektrikum die unmittelbar über der Erde liegende mehr oder weniger trockene Luftschicht und dessen anderer, allerdings unzusammenhängender Beleg die durch Kondensation in den höheren kalten Luftschichten entstehenden Wolkengebilde darstellen. Der atmosphärische Teil dieses Kondensators ist naturgemäss in seiner elektrischen Beschaffenheit veränderlich wie das Wetter. Da nun ein über die Erdoberfläche gezogener Leitungsdraht sich niemals absolut von der Erdoberfläche isolieren lässt, so wird dessen stationärer Ladungszustand mit demjenigen der unter ihm liegenden Erdoberfläche übereinstimmen und wird deshalb zunächst nicht wahrnehmbar sein. Findet nun zwischen der Erdoberfläche und den darüber schwebenden Wolken oder auch nur zwischen den letzteren ein eruptiver elektrostatischer Ausgleich statt, dann wird die vorher im Leitungsdraht gebundene statische Elektrizität plötzlich frei und hat nun die Tendenz, auf irgend einem Wege zur Erdoberfläche überzuspringen."

Es ist nun nicht wahrscheinlich, dass Freileitungen in der Regel das Potential der Erdoberfläche beibehalten, denn dem steht die hauptsächlich bei Hochspannungsanlagen sorgfältig hergestellte Isolierung der Leitungen gegen Erde im Wege, die keinen genügenden Ausgleich stattfinden lässt, sie werden vielmehr das Potential der umgebenden Luft annehmen, welches aber in Höhen von 10 m über der Erdoberfläche schon ein sehr hohes sein kann.[2]) Ferner wäre es aber dann auch nicht möglich, dass durch das Anprallen trocknen, meistens sehr stark positiv geladenen Schnees, wie es sehr häufig beobachtet worden ist, eine überaus hohe Überspannung auftritt.

Es kann aber nicht nur eine hohe Potentialdifferenz zwischen Freileitungen und der Erde, sondern auch zwischen den meistens zu zweien oder mehreren auf einem Gestänge geführten Leitungen auftreten.[3]) Das Gleichgewicht des Potentials dieser könnte dadurch aufgehoben werden, dass für die Ableitung der Ladung in einer Leitung die Verhältnisse günstiger liegen als in der anderen. Es kann dies ein Isolationsfehler oder eine zu eng eingestellte Blitzschutzvorrichtung bedingen. Hier findet dann ein Ausgleich und dann eine Rückladung mit entgegengesetztem Vorzeichen statt und es tritt der Fall ein, dass eine hohe Potentialdifferenz zwischen zwei Leitungen entsteht, die von Pol zu Pol, nicht von einer Leitung zur Erde durchzubrechen strebt.

426. Ladungsaufnahme aus der Atmosphäre.

BENISCHKE schreibt über die direkte Ladungsaufnahme aus der Atmosphäre:[4])

---

1) ETZ 1901, Heft 30.

2) LIEBENOW, Die atmosphärische Elektrizität, S. 23.

3) ETZ 1901, Heft 30, S. 601.

4) Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen. Braunschweig 1902, S. 3.

„Sie kommen im Sommer in gewissen Gegenden so häufig vor, dass oberirdische Leitungsnetze oft den ganzen Tag und auch noch während der Nacht beständig unter einer gewissen Spannung stehen. Es ist deshalb fortwährend Neigung zum Durchbrechen irgend welcher Isolation vorhanden, wenn nicht geeignete Schutzvorrichtungen da sind. In gewitterreichen Gegenden kann man beobachten, dass solche Oberleitungen, besonders, wenn sie über waldfreie Anhöhen gehen, die besten und sichersten Gewitteranzeiger sind, oft auf Stunden im voraus."

Fernleitungen, die in geschützten Thälern entlang geführt werden, werden daher auch viel weniger unter atmosphärischen Entladungen zu leiden haben.

427. Dynamische Induktion. Die dynamische Induktion infolge von Blitzschlägen, welche dann entsteht, wenn der Kreuzungswinkel zwischen dem einschlagenden Blitz und der Leitungsführung grösser oder kleiner als 90^0 ist, kann die vorstehend erwähnten Erscheinungen noch schwieriger gestalten; im allgemeinen wird ihnen aber eine geringere Bedeutung beigelegt, ebenso wie der Influenzwirkung seitens vorüberziehender Gewitterwolken.

428. Dunkle Entladungen. Die häufig auftretenden dunklen Entladungen, welche zur Nachtzeit als Büschelentladungen (Elmsfeuer) sichtbar werden, sind nicht gefährlich, solange ihr Ursprung in atmosphärischen Ladungen zu suchen ist. Beachtenswert sind sie dagegen in solchen Anlagen, welche mit sehr hohen Spannungen betrieben werden, bei welchen also die Betriebsspannung die Ursache dieser Entladungen ist und wo dieselben infolgedessen andauernd wirken.

Es wird daher die Erhöhung der Betriebsspannung bei Freileitungen nur bis zu einer gewissen Grenze getrieben werden können, wenn die Verluste nicht allzu grosse werden sollen.

429. Verluste bei sehr hohen Spannungen. Bezüglich dieser sind von CH. F. SCOTT[1]) Versuche in Gemeinschaft mit der Westinghouse-Gesellschaft gemacht worden, aus denen hervorgeht, dass bis zu Spannungen von 50000 bis 60000 Volt die Anwendung neuer Methoden nicht erforderlich wäre. Der Arbeit SCOTTs seien die folgenden Daten entnommen:

Der Verlust durch Überleitung über die Isolatoren war bei den angestellten Versuchen im Verhältnis zur übertragenen Leistung klein. Um jedoch feststellen zu können, welcher Verlust durch Entladungen zwischen den einzelnen Drähten auftrat, musste der auf die Isolatoren entfallende Verlust möglichst eliminiert und die Drähte ohne Isolatoren freitragend aufgehangen werden. Es wurden zunächst neun 18 m lange Drähte in einer Entfernung von 10 cm voneinander in einer horizontalen Ebene so angeordnet, dass grössere Verluste auftreten mussten. Als die Drähte unter Hochspannung gesetzt wurden, begannen sie ein zischendes und krachendes Geräusch von sich zu geben und wenig unter 20000 Volt begannen sie zu leuchten. Die Drähte gerieten in Schwingungen, leuchteten stärker und waren schliesslich mit einer bläulichen Lichthülle umgeben. Es machte sich sehr starke Ozonbildung bemerkbar.

Die von einem Transformator abgegebene Leistung wurde durch ein Wattmeter gemessen und die Resultate in den Kurven (Fig. 333 a) wiedergegeben. Es sind die Verluste getrennt für Transformatoren und Drähte als auch für beide zusammen eingetragen. Die ausgezogenen Linien entsprechen Versuchen, welche mit 60 Perioden, die gestrichelten solchen, welche mit

1) Transaction of the American Inst. of Electrical Engineers, Oktbr. 1898. Im übrigen vergleiche Dielektrische Festigkeit und Dichtigkeit Hdb. I, 1.

133 Perioden vorgenommen wurden. Nach diesen Kurven stellen sich die Verluste bei der oben gekennzeichneten Versuchsanordnung bis zu einer Spannung von 18 000 Volt als sehr gering heraus, nehmen aber von da an sehr schnell zu. Die Periodenzahl hat keinen nennenswerten Einfluss.

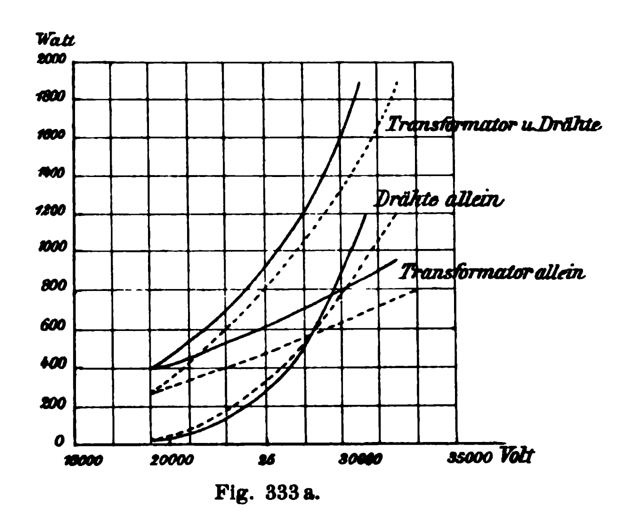


Fig. 333 a.

Später wurde eine 38 km lange Leitungsstrecke unter Spannung genommen und diese allmählich in wochenlangen Zwischenräumen von 25 000 bis auf 50 000 Volt gesteigert. Da ungünstige Witterungsverhältnisse, Schnee und Regen, herrschten, waren die Leitungen bei Nacht vollkommen sichtbar und liessen das der Hochspannung eigentümliche Zischen vernehmen.

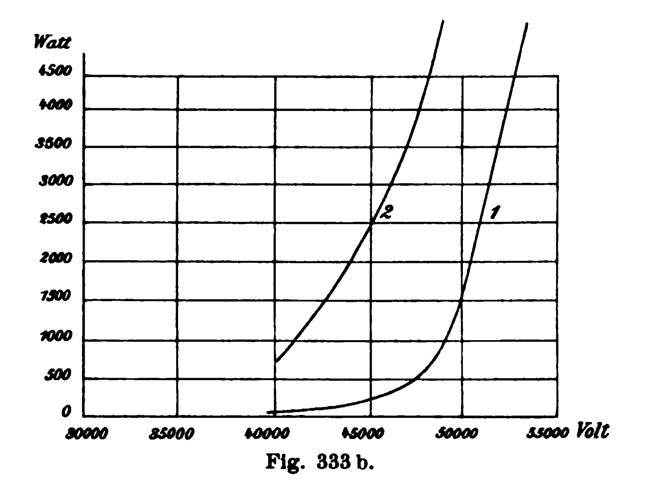


Fig. 333 b.

Messungen zur Bestimmung der Leistung, welche an dem die Hochspannung liefernden Transformator bei offenem und geschlossenem sekundären Kreise vorgenommen wurden, zeigten, dass der auf die Leitungen entfallende Verlust bei Spannungen bis 45 000 Volt sehr klein war, dann aber rasch anstieg und bei 59 000 Volt bereits 16,4 Kilowatt betrug (Fig. 333 b Kurve 1; Kurve 2 giebt die Werte wieder, die ein anderer Beobachter ein Jahr später mit einer anderen Messmethode fand).

Die Feststellung der Verluste bei verschiedenen Entfernungen der Drähte unter sich geben die in Fig. 333c eingetragenen Werte, und zwar sind hier die jeweiligen Entfernungen in Centimetern eingetragen.

Diese Untersuchungen ergaben also, dass der Verlust, wenn eine gewisse kritische Spannung überschritten ist, sehr rasch wächst, dass er von der Periodenzahl unabhängig und viel rascher abnimmt als die Entfernung der Drähte gegeneinander zunimmt.

Hieraus kommt man aber zu dem Schluss, dass die Verluste in zwei Teile zu zerlegen sind, einmal in die, welche über die Isolatoren und Gestänge hinweg entstehen — in den Kurven würde diesem Verlust die Strecke unterhalb des scharfen Knicks entsprechen — und zum anderen in den Verlust, der sich aus dem erstgenannten und demjenigen zusammensetzt, der durch die Luft direkt stattfindet.

Abgesehen von Niederschlägen sind die Verluste unabhängig von Witterungsverhältnissen, jedoch hat die jeweilige Beschaffenheit der Luft insofern einen

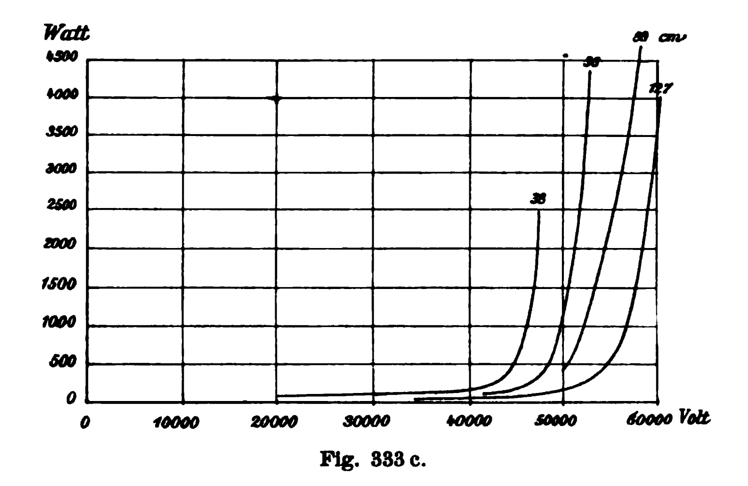


Fig. 333 c.

grossen Einfluss, als die Verluste in der Nähe grösserer Städte wesentlich grösser werden als in den Kurven verzeichnet, da dann die Verunreinigungen eine grössere Leitfähigkeit der Luft bedingen. Es ist aber als sicher anzunehmen, dass unter nicht allzu ungünstigen Umständen, die im wesentlichen in der Verunreinigung der Luft liegen würden, Spannungen von 40 000 Volt in bezug auf die Verluste unter dem Knick auf der Kurve liegen würden.

In der That sind ja jetzt schon nicht nur Anlagen mit Betriebsspannungen von 40 000 Volt anstandslos im Betriebe,[1]) sondern es wird auch über solche berichtet,[2]) welche bei 60 000 Volt von zwei Zentralen aus 14 000 und 15 000 PS auf eine Entfernung von 360 bezw. 270 km übertragen.

430. Abhängigkeit der Verluste vom Drahtdurchmesser

Weitere Versuche zeigten, dass die Verluste auch von dem Drahtdurchmesser abhängig sind, und zwar wurden hierbei blanke Messingdrähte von 0,32 mm Durchmesser, gummiisolierte Drähte von 7,6 mm Durchmesser über der Isolierung gemessen, und dieselben ohne Isolierung von 3,65 mm Durchmesser,

1) TELLURIDE, Power Transmission Company Prior Work U. S. A.

2) Bay County and Standard Company, Zentralen Colgate & Electra bei S. Francisco; ETZ 1902, S. 862. — Hdb. VI, 1: Aluminium, S. 15.

untersucht. Das Resultat geben die Kurven Fig. 333 d wieder, von denen Kurve 1 für zwei Drähte von 0·32 mm Durchmesser gilt, die in einer Entfernung von 122 cm voneinander aufgehängt sind, Kurve 2 für einen Draht von 0·32 mm Durchmesser und einen etwas stärkeren in einer Entfernung von 61 cm, Kurve 3 für zwei Drähte der letzteren Art bei 122 cm und Kurve 4 für die beiden gummiisolierten Drähte bei der gleichen Entfernung.

431. Spannungserhöhung durch Resonanz. In Wechselstromnetzen können durch elektrische Resonanz sehr erhebliche Spannungserhöhungen auftreten, da die EMK der Kapazität und der Selbstinduktion bedeutend höhere Werte als die der Stromquelle annehmen kann und das Auftreten von Resonanz nicht von den absoluten Grössen dieser Werte, sondern von der relativen Grösse beider gegeneinander abhängig ist.[1])

Der maximale Resonanzeffekt ist durch die Gleichung

$$L = \frac{1}{C\,W^2}$$

gegeben, worin L den Selbstinduktionskoeffizienten, C die Kapazität des Netzes bedeutet und $W = \pi z$ ist. Für z sind die Stromwechsel pro Sekunde einzusetzen.

An Hand des Diagrammes (Fig. 333 e)

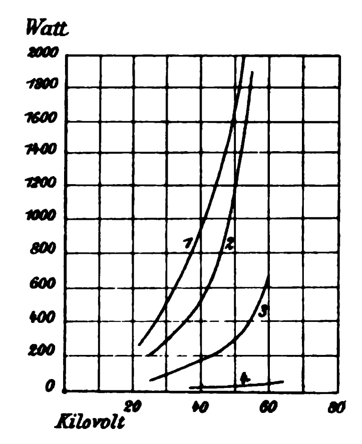


Fig. 333 d.

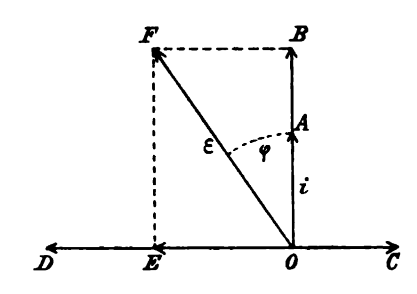


Fig. 333 e.

lassen sich diese Verhältnisse leicht übersehen. Mit der Richtung des Stromes OA fällt der OHMsche Spannungsverlust OB zusammen; die Kondensatorspannung E_c eilt dem Strom um 90^0 voraus, während die EMK der Selbstinduktion E_L dem Strome um $^3/_4$ Perioden nacheilt. Bilden wir die Differenz $E_c - E_L$ und konstruieren aus OB und OE die Resultante OF, so stellt diese die zur Erzeugung des Stromes OA erforderliche Primärspannung dar. Die maximale Resonanz tritt auf, wenn $OE = 0$ und der Winkel $\varphi = 0$; in diesem Falle dient die Primärspannung allein zur Deckung des OHMschen Spannungsverlustes.

Da nach dem oben Gesagten die Resonanz in hohem Masse von der Frequenz des Stromes abhängig ist, diese aber bei den meisten in Frage kommenden Werten von Selbstinduktion und Kapazität sehr gering sein wird, so könnten Spannungserhöhungen durch Resonanz nicht eintreten, wenn nicht die Stromkurven der Generatoren von der Sinuslinie häufig stark abweichen würden.

1) Z. f. E., Wien 1901, S. 478.

Die deformierten Kurven haben ihre Ursache in der Kombination[1]) der Grundwellen von der normalen Frequenz mit Nebenwellen höherer Frequenz. STEINMETZ[2]) berechnet, dass Resonanz erst eintreten würde, wenn eine harmonische Gliederung von der fünf- bis siebenfachen normalen Frequenz besteht, wobei sich die Spannung auf den 14·4 fachen Betrag erhöhen würde. LEBLANC[3]) berichtet über derartige Erscheinungen im Pariser Leitungsnetz, wobei die Frequenz das 11 fache der Grundkomponente betragen hat; er rät, die Entstehung von Resonanzerscheinungen durch einen solchen Bau der Netze zu vermeiden, dass bei Leerlauf Resonanz entsteht, die bei wachsender Belastung durch Zuschalten von Kondensatoren und die hierdurch bedingte Erhöhung der Kapazität kompensiert würde.[4])

432. Resonanz in Gleichstromnetzen.

Mr. C. P. STEINMETZ[5]) trug bei der jährlichen Sitzung der „American Institution of Electrical Engineers" eine theoretische Untersuchung vor über „einige Oscillationen von sehr hohem Potential in hochgespannten Kraftübertragungen". Seine Schlussfolgerungen waren folgende:

1. Die wichtigsten Ursachen von schädlichen Hochspannungserscheinungen in den Selbstinduktion und Kapazität enthaltenden Hochspannungsstromkreisen sind nicht etwa Resonanzerscheinungen der Periode der induzierten EMK oder ihrer höheren harmonischen, sondern die Ursachen sind die elektrischen Oscillationen, die von einer Änderung in den Zuständen des Stromkreises, wie Anlaufen, Stromkreisöffnen u. s. w. hervorgerufen werden.

2. Diese Erscheinungen sind von der Frequenz und Kurvenform der induzierten EMK unabhängig; sie hängen nur von den Bedingungen ab, unter welchen die Änderung im Stromkreise stattfindet, d. h. davon, wie die Art der Änderung und der Wert der EMK und des Stromes in dem Moment ist, in welchem die Änderung stattfindet.

3. Die elektrischen Oscillationen, die beim Einschalten der Leitung auftreten, erreichen keine sehr hohen Spannungen, aber die Oscillationen, die beim Öffnen des Stromkreises unter Last auftreten, können schädliche Spannungen erzeugen; insbesondere diejenigen, die bei der Unterbrechung eines Kurzschlusses zustande kommen, können Potentialdifferenzen hervorrufen, denen keine Isolierung widerstehen kann. Es sind deshalb besondere Vorsichtsmassregeln nötig beim Öffnen eines hochgespannten Stromkreises unter Last.

4. Die Spannungen, die beim Stromkreisöffnen unter Last oder Kurzschluss auftreten, sind nicht sehr hoch, wenn das Ausschalten in einem gewissen Moment der Kurve der EMK geschieht. Dieser Punkt stimmt nahezu mit demjenigen, in dem der Strom Null wird, überein.

433. Oscillationen von hoher Frequenz.

Auch in Gleichstromkreisen können Resonanzerscheinungen[6]) auftreten, die entstehen können, wenn ein Apparat mit Eigenperiode in den Nebenschluss einer Hauptleitung geschaltet wird. Die Ströme, welche Gleichstrommaschinen entstammen, sind gleichgerichtete Ströme, denen ein schwacher Wechselstrom überlagert ist, dessen Wechsel von der Anzahl der Windungsgruppen auf dem Ring und der Geschwindigkeit abhängen. Die Spannungs-

1) Z. f. E., 1901, S. 478.
2) STEINMETZ, Alternating current phenomena, S. 338.
3) LEBLANC, L'Éclairage électrique 1900, S. 264.
4) Vgl. Hdb. VI 1, S. 138.
5) Electrician 29./10. 1901.
6) Annalen d. Physik 1902, Beiblätter S. 200 — Éclairage électrique 27, S. 466—468.

kurve erscheint geradlinig, aber etwas verwischt. Wird nun noch ein Motor mit geringer Lamellenzahl eingeschaltet, so werden die Spannungsschwankungen sofort gross und können bei Resonanz unbegrenzt sein.

434. Durchschläge in Netzen mit konzentrischen Kabeln.

In Wechselstromnetzen, welche aus konzentrischen Kabeln gebildet werden, wird häufig die Beobachtung gemacht, dass der Aussenleiter nach dem Bleimantel durchschlägt. Diese Gefahr wird vermieden, wenn

der Aussenleiter zuerst eingeschaltet,

der Innenleiter zuerst abgeschaltet wird.

Die Ursachen der Gefahr und ihre Abhilfe sind kurz die folgenden:[1])

Sind in den Knotenpunkten eines aus konzentrischen Kabeln gebildeten Hochspannungsnetzes Transformatoren angeschlossen, so kann der Fall vorkommen, dass ein Aussenleiter an einem Ende ausgeschaltet wird, am anderen jedoch am Transformator angeschlossen bleibt, so dass er nunmehr von diesem aus geladen wird. Die Kapazität des abgeschalteten Aussenleiters gegen Bleimantel, also Erde, sei mit C_1, die der übrigen nicht abgeschalteten Aussenleiter gegen Erde C_2. Dann fliesst der Strom von der Innenleitersammelschiene in der Zentrale nach der Wicklung des Transformators, von hier in den an anderer Stelle abgeschalteten Aussenleiter, von diesem durch C_1 nach Erde, von wo er über C_2 nach den im Betrieb befindlichen Aussenleitern und von da zur Zentrale zurückkehrt.

Beide Kapazitäten können wir durch eine ersetzen, die ausgedrückt wird durch:

$$C = \frac{C_1\, C_2}{C_1 + C_2}.$$

Wenn C_2 im Verhältnis zu C_1 sehr gross ist, so ist nahezu

$$C = C_1.$$

Infolgedessen wirken sämtliche Aussenleiter so, als wenn sie Erdschluss hätten und die Isolierung des abgeschalteten Aussenleiters muss der ganzen Spannung des Ladestromes, die durch Resonanz stark anwachsen kann, widerstehen.

Weiter können Durchschläge durch Erdschluss des Innenleiters auftreten.

Um konzentrische Kabelnetze gegen derartige Durchschläge zu schützen, giebt es nur ein wirksames Mittel, alle Aussenleiter an Erde zu legen und in diese keine Sicherungen zu legen, so dass sich nur der Innenleiter abschalten kann.[2]) Wegen der durch die Erdung auftretenden Telephonstörungen wird die Erdverbindung nur an einem Punkte vorgenommen und, um bei einem etwa auftretenden Erdschluss des Innenleiters keinen zu grossen Stromstoss zu bekommen, wird ein induktionsfreier Widerstand in die Erdverbindung eingeschaltet. Hierzu eignet sich besonders irgend ein Wasserwiderstand, z. B. der in Fig. 381 u. 382 abgebildete und später beschriebene Wasserwiderstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

435. Durchschläge in Netzen mit verseilten Kabeln.

Bei verseilten Kabeln ist die Gefahr des Durchschlagens zwar nicht ganz beseitigt, aber doch wesentlich geringer, da einmal sämtliche Leiter

1) Feldmann, Transformatoren 1895. — Kapp, ETZ 1899, S. 896. Vgl. ferner: Lord Kelvin, 1855, „Electric Telegraph". — Transact. Am. Inst. Electr. Eng. 1902, Heft 6.
2) ETZ 1899, S. 897.

gleich gut isoliert sind und die Kapazität auch wesentlich geringer ist; man vermeidet aber hier die Gefahr, indem man alle Leiter eines Kabels gleichzeitig ein- und ausschaltet.

Nun kann aber noch der Fall auftreten, dass aus irgend einem Grunde sich das Sekundärnetz durch Abschmelzen der Sicherungen abschaltet, am Anfange des Primärkabels aber nur eine Sicherung abschmilzt, dann ist auch das verseilte Kabel nicht gegen Durchschlagen geschützt. Man kann dem aber vorbeugen, indem man zwar alle Leiter sichert, die der Stromerzeugungsstelle näher liegenden Sicherungen aber stärker wählt als die entfernter liegenden.

Dass im übrigen auch direkte Blitzschläge Kabeln gefährlich werden können, zeigt eine Mitteilung von WILKENS.[1])

436. Berechnung der Spannungserhöhung durch oscillatorische Entladungen.

Um die Spannungserhöhung durch oscillatorische Entladungen in Fernleitungen zu berechnen, gab F. G. BAUM einen einfachen Weg an.[2])

Er unterscheidet drei Fälle:

1. Öffnen einer belasteten oder kurzgeschlossenen Leitung im Sekundärkreise.

Die gesamte Kapazität der Leitungen, die sich ja auf deren ganzer Länge gleichmässig verteilt, wird ersetzt gedacht durch die im Mittelpunkt der Linie zusammengezogene Kapazität C. Die Selbstinduktion eines Drahtes vom Stromerzeuger bis zur angenommenen Konzentrationsstelle der Kapazität sei L_s.

Beim Unterbrechen eines Stromes J muss die durch den Ausdruck $L_s \frac{J^2}{2}$ gegebene, im magnetischen Felde aufgespeicherte Energie in den von der Leitung gebildeten Kondensator fliessen. Bezeichnet E die Kondensatorspannung, so kann die vom Kondensator aufgenommene Energie ausgedrückt werden durch $C \frac{E^2}{2}$.

Es ergiebt sich somit

$$L_s \frac{J^2}{2} = C \frac{E^2}{2}$$

oder

$$J = E \sqrt{\frac{C}{L_s}} = E\,C \frac{1}{\sqrt{L_s\,C}}.$$

Der Kondensatorstrom ist jedoch

$$J = 2\,\pi n\,C\,E,$$

wenn n die natürliche Frequenz der EMK ist. Wird dieser Ausdruck in die frühere Gleichung eingeführt, so ergiebt sich

$$\frac{1}{\sqrt{L_s\,C}} = 2\,\pi n,$$

das heisst

$$n = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s\,C}}. \qquad \text{. . . . . (31)}$$

---

1) ETZ 1902, S. 577.

2) Electrical World and Eng. 1902. Nach einem Vortrage auf der Jahresversammlung der Pacific Coast Transmission Association S. Francisco.

Die Intensität des oscillatorisch auftretenden Entladestromes nimmt gleichförmig ab, sie wird so lange hin- und herwandern, bis sie vom Widerstand der Leitung aufgezehrt ist. Die Periodenzahl einer gegen den Erdboden entladenden Fernleitung ist also nicht abhängig von ihrer Entfernung vom Erdboden oder von ihrem Querschnitt, sondern nur von ihrer Länge.

In einer Drehstromkraftübertragungsanlage beträgt z. B. die Selbstinduktion 0·05 Henry, für 100 km also $L_s = 0{\cdot}05\ l$, worin l die Länge in Einheiten von 100 km bedeutet. Die Kapazität beträgt 1·2 Mikrofarad für 100 km, also

$$C = 1{\cdot}2\ l\ 10^{-6} \text{ Farad.}$$

Dies in die Gleichung (31) für n eingesetzt, ergiebt

$$n = \frac{650}{l}.$$

Die natürliche Frequenz einer Fernleitung von 100 km beträgt somit 650 und wird sich bei einer Leitung von nur 10 km auf 6500 erhöhen, bei einer solchen von 1000 km auf 65 erniedrigen, wird also bei etwa 1300 km der aufgedrückten Periodenzahl gleich sein, wenn die Anlage mit der Frequenz von 50 arbeitet. Die auftretende Periodenzahl bei einer Entladung ist also nicht sehr hoch.

Werden in die Gleichung

$$E = \frac{J}{2\,\pi\,n\,C}$$

die Werte für C und n eingesetzt, so ergiebt sich ungefähr

$$E = 200\ J,$$

so dass die Spannungserhöhung, unabhängig von der Leitungslänge, nur von der Höhe des Stromes abhängt, welcher unterbrochen wird. Die gefährlichste Spannung wird also bei der Unterbrechung eines Kurzschlusses auftreten. Die Gefahr der Spannungserhöhung kann aber vermieden werden, wenn das bereits auf S. 381 angeführte Zitat von STEINMETZ beachtet wird: Die Spannungen sind nicht sehr hoch, wenn das Ausschalten in einem gewissen Moment der Kurve der EMK geschieht, das nahezu mit demjenigen übereinstimmt, in welchem der Strom Null wird.

Da sich die bei der Entladung auftretende Spannung zu der der Fernleitung aufgedrückten (E_1) addiert, so kann die maximal auftretende betragen

$$E_{max.} = E_1 \sqrt{2} + 200\ J \sqrt{2},$$

vorausgesetzt, dass im Moment des Ausschaltens der Strom einen Maximalwert besitzt.

Der von BAUM unterschiedene zweite und dritte Fall, nämlich

> Spannungserhöhung beim Schliessen eines Hochspannungsschalters, um die Leitung zu belasten,

und

> Öffnung eines derartigen Schalters, um die Leitung abzustellen,

ergaben beide das Resultat, dass das Maximum der Spannung das Doppelte der Betriebsspannung betragen kann.

437. Übertritt von Hochspannung in Niederspannungskreise.

Es sei nun noch auf die Gefahren hingewiesen, welche durch den Übertritt von hochgespannten Strömen in Stromkreise niederen Potentials entstehen

können. Die Ursachen können sowohl die direkte Berührung von Leitungen verschiedener Stromkreise als auch das Überschlagen von Hochspannung, unter Durchbrechung der Isolierung, sein.

Die Berührung wird meistens dann stattfinden, wenn bei der Führung von verschiedenen Leitungen auf demselben Gestänge nicht genügend dafür gesorgt wird, dass im Falle eines Bruches die herabfallenden Leitungen sicher abgefangen oder spannungslos gemacht werden,[1]) oder wenn die Leitungen zu schlaff gespannt sind.

An Transformatoren, wo Hoch- und Niederspannungswicklung sehr nahe übereinander liegen, ist besonders Rücksicht darauf zu nehmen, dass der Übertritt von Hochspannung unschädlich gemacht wird, sei es durch Zwischenschiebung geerdeter Metallplatten oder Ölschichten,[2]) welche zwischen den beiden Wicklungen angeordnet werden, sei es durch die Anbringung von erdenden oder kurzschliessenden Spannungssicherungen.

Auch bei der Verwendung von Synchronmotoren ist eine Spannungserhöhung im Netz durch Übererregung nicht ausgeschlossen, wobei der Motor allerdings gleichzeitig als Generator auf das Netz arbeiten würde.

Die Schutzvorrichtungen.

Der grossen Bedeutung entsprechend, welche eine unschädliche Ableitung der in den Netzen auftretenden Überspannungen für die ordnungsmässige Abwicklung des Betriebes hat, sind eine überaus grosse Anzahl von Konstruktionen entstanden, welche diesen Schutz anstreben.

Bei diesen Apparaten kommt es aber nicht allein darauf an, dass ein rascher Ausgleich herbeigeführt wird, vielmehr haben sie noch die besondere Aufgabe, den bei der Entladung entstehenden Kurzschluss zu verhindern, abzuschwächen oder möglichst bald aufzuheben. Es ist aber auch versucht worden, Anordnungen zu treffen, welche das Auftreten von statischen Ladungen in elektrischen Leitungen überhaupt unmöglich machen sollen. Es ist bekannt, dass sich statische Ladungen nur auf der Oberfläche der Körper sammeln, nie in deren Inneres eindringen. FARADAY hat gezeigt, dass selbst in das Innere eines Drahtgeflechtes (FARADAYscher Käfig) Ladungen nicht eindringen. Hiernach wäre es das sicherste Schutzmittel gegen statische Ladungen, wenn man die Leitungen vollständig mit einem Drahtgeflecht umziehen würde. Die hierdurch verursachten Kosten wären aber so enorm, dass der Vorschlag keine praktische Bedeutung hat, auch würde die auf einer derartig ausgebauten Strecke im Winter auftretende Schnee- und Eisbelastung so gross sein, dass die Gestänge brechen würden.

438. Versuch, statische Ladungen gänzlich zu vermeiden.

Statt dieser Anordnung kann die Anbringung von mehreren dem Laufe der Leitungen folgenden Längsdrähten, die nach Art der Schutznetze miteinander verbunden sind, angewendet werden; jedoch ist auch diese Anordnung teuer. — Ausgeführt ist dieselbe in der Anordnung, welche Fig. 334 zeigt, von SIEMENS & HALSKE beim Bau der Zentrale in Grünberg, eine der ersten, die mit 10000 Volt erbaut wurde.

1) Näheres siehe Hdb. VI, 2.

2) General Electric Co. — Im übrigen werden bei Transformatoren jetzt nicht mehr nur trennende Ölschichten verwendet, vielmehr alle Wicklungen in mit Öl gänzlich gefüllten Kästen untergebracht.

Die ab und zu angewendete Führung von Stacheldraht auf den Gestängen, welche Fig. 334 auch zeigt, wurde als unzweckmässig aufgegeben.

439. Einteilung der Schutzvorrichtungen.

In der folgenden Zusammenstellung[1]) sind alle möglichen Vorrichtungen (die zum Teil aber nur geschichtliches Interesse bieten), aufgezählt, und zwar nach der Art zusammengefasst, wie sie den bei der Entladung bestehenden Kurzschluss aufheben oder verhindern sollen:

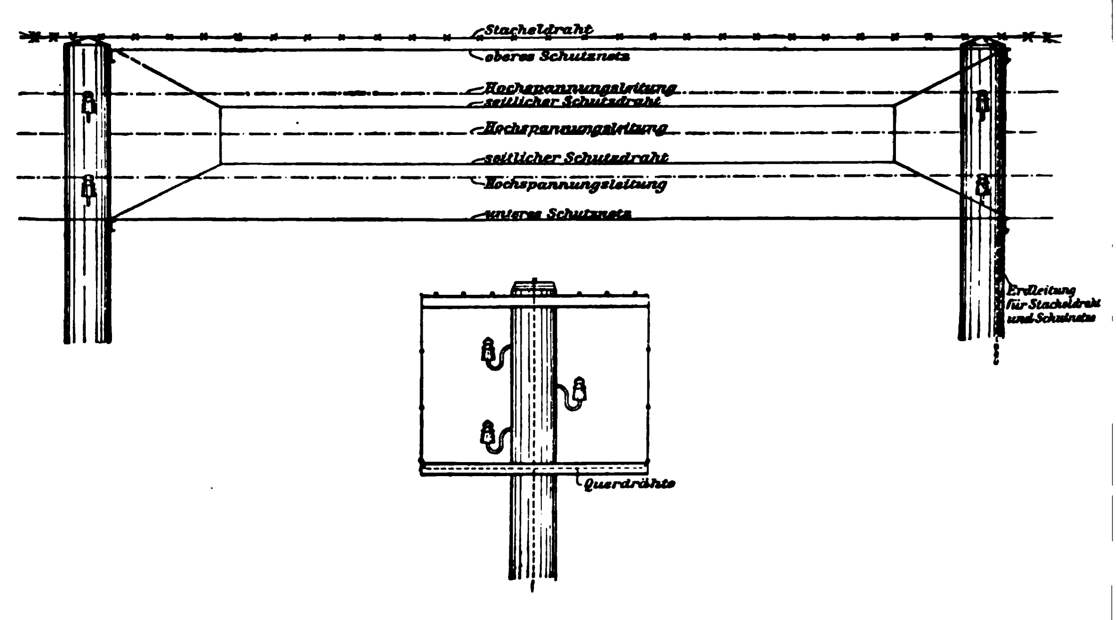


Fig. 334.

1. Einrichtungen, welche durch Nebenschliessung hoher Widerstände das Auftreten des Kurzschlusses überhaupt verhindern.
2. Einrichtungen mit Funken in isolierenden Umgebungen von besonderer Art.
3. Einrichtungen, welche durch elektromotorische Gegenkraft wirken.
4. Einrichtungen, die auf Unterteilung des Funkens beruhen.
5. Einrichtungen mit direkter mechanischer Bewegung der Teile, zwischen denen Funken übergehen.
6. Einrichtungen mit mechanischer Bewegung durch Elektromagnet.
7. Einrichtungen mit Abreissvorrichtungen durch Erwärmung fester Körper.
8. Einrichtungen, bei denen der infolge von Erwärmung der Luft durch Funken entstehende Luftzug den Lichtbogen auslöscht.

---

1) KALLMANN, ETZ 1893, S. 665 und NEESEN, Die Sicherungen von Schwach- und Starkstromanlagen gegen die Gefahren der atmosphärischen Elektrizität, Braunschweig 1899, S. 45.

9. Einrichtungen, welche auf dem Verhalten des Funkens im magnetischen Felde beruhen.
10. Einrichtungen, beruhend auf elektrodynamischer Wirkung.
11. Einrichtungen, bei denen die in 9 und 10 erwähnten Vorrichtungen kombiniert wurden.

1. Vorrichtungen, welche durch das Nebenschliessen hoher Widerstände das Auftreten des Kurzschlusses überhaupt verhindern.

440. Tankblitzableiter von Wurts

Da es schwierig ist, genügend hohe Widerstände herzustellen, welche gar keine Selbstinduktion besitzen, so können für die vorgenannten Vorrichtungen nur Wasserwiderstände verwendet werden. Die bekannteste Form

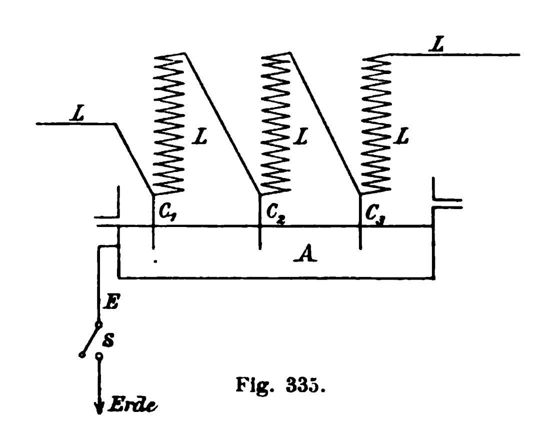


Fig. 335.

dieser Art repräsentiert der Tankblitzableiter von WURTS[1]) (Fig. 335). Er besteht aus einem Wasserbehälter A, in welchen Kohlenelektroden C eintauchen. Zwischen je zwei benachbarten Elektroden sind Selbstinduktionsspulen L eingeschaltet, und zwar derart, dass sie in der durchgehenden Leitung L hintereinander geschaltet sind. Der mit der Erde durch die Leitung E verbundene Trog wird von Wasser durchströmt, jedoch in der Regel nur zur Zeit eines Gewitters, um die Oberfläche des Wassers von leitenden Unreinlichkeiten zu säubern. Auch die Erdleitung wird nur zur Zeit eines Gewitters angelegt und ist daher ein besonderer Schalter S angeordnet.

Die Entladung findet zunächst bei der ersten Kohlenelektrode C_1 statt, und falls die Selbstinduktion der ersten Spule nicht genügend gross war, folgt die zweite Entladung über die zweite Elektrode C_2.

An und für sich ist nun der Widerstand eines derartigen Apparates nicht sehr hoch, so dass, solange er eingeschaltet ist, nennenswerte Verluste auftreten werden; daher wird der Schalter nur während des Gewitters geschlossen. Das ist natürlich bedenklich, denn bei unerwartet eintretenden Entladungen, die selbst bei völlig heiterem Himmel vorkommen können, wäre

1) U. S. P. No. 497 397.

die Anlage ungeschützt, ganz abgesehen davon, dass ihre Sicherheit von der mehr oder weniger grossen Aufmerksamkeit des Personals abhängig ist.

Derartige Apparate baut die Westinghouse Elektrizitäts-Gesellschaft. Sie werden durch Fig. 336 erläutert.

441. Der Wasserstrahl als Widerstand.

Gibbony[1]) nützt den Umstand aus, dass fallendes Wasser dem Strome grossen Widerstand entgegensetzt, statische Elektrizität dagegen schnell ab-

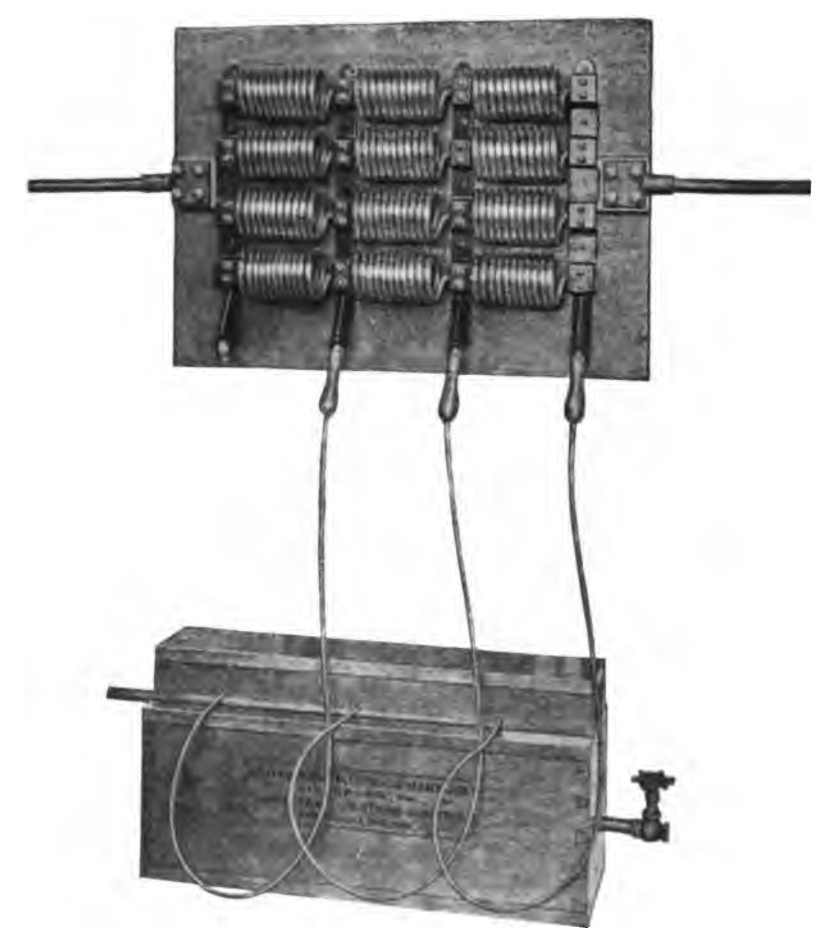


Fig. 336.

leitet. Die Leitungen werden daher mit der Erde durch einen fallenden Wasserstrahl verbunden, welcher die atmosphärischen Entladungen ableitet.

Schuckert & Co. wendeten gleichzeitig mit anderen Schutzvorrichtungen ebenfalls eine Wasserstrahl-Erdung an; der Strahl fällt jedoch nicht, sondern steigt. Die Anordnung ist der vorher erwähnten sicher vorzuziehen, da der fallende Strahl nicht immer eine ununterbrochene Wassersäule bilden wird. Fig. 337 zeigt diese Vorrichtung. Sie besteht aus gekrümmten, an einem Gerüst befestigten Metallplatten, gegen die aus Druckrohren, deren Anzahl

1) U. S. P. No. 520 776.

der der Leitungen entspricht, ein Wasserstrahl derart spritzt, dass das Wasser nicht zerstäubt. Die Länge des Strahles, die von der Betriebsspannung abhängig ist, kann bequem reguliert werden. Die Strahlrohre selbst sind gut mit der Erde verbunden.

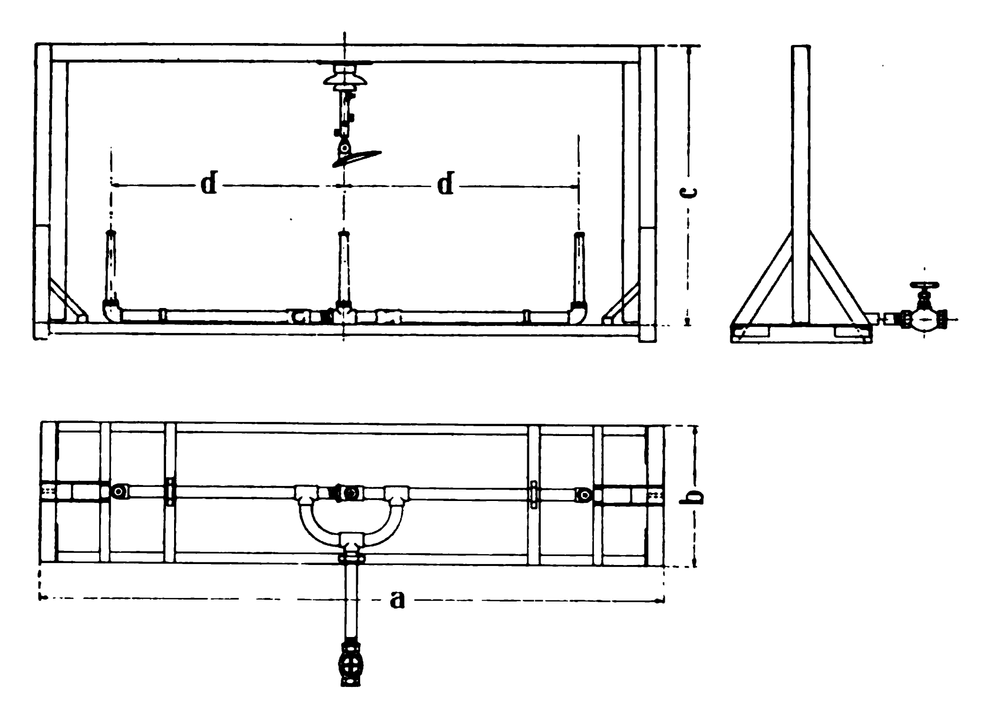


Fig. 337.

Spannung in Volt	Masse in mm			
	a	b	c	d
5000	1640	600	1170	500
10000	2800	600	1200	1000

442. Einschaltung von Kondensatoren und andere Einrichtungen.

RUDI[1]) schaltet zu den Dynamomaschinen einen hohen Widerstand parallel, dessen Mitte durch eine Leitung, in welcher ebenfalls ein hoher Widerstand liegt, dauernd mit der Erde verbunden ist.

Statt des Widerstandes sind in der gleichen Anordnung auch grossflächige Kondensatoren verwendet worden,[2]) deren Wirkungsweise darauf beruht, dass ihr scheinbarer Widerstand um so geringer, je höher die Wechselzahl. Ströme hoher Frequenz werden somit abfliessen können, ohne gefähr-

1) U. S. P. No. 511 461.

2) El. World 1902, S. 343. — Diese Anordnungen werden neuerdings mit Erfolg angewendet.

liche Überspannungen hervorzurufen. Die Betriebsströme, die hingegen mit geringer Periodenzahl arbeiten, werden nicht hindurch gelassen.

Das beste Mittel, um atmosphärische Entladungen zu vermeiden, wäre offenbar das, alle stromführenden Teile einer Anlage so gut zu isolieren, also einen so hohen Übergangswiderstand zur Erde zu schaffen, dass Entladungen überhaupt nicht möglich wären. Das ist praktisch aber unausführbar, ganz abgesehen davon, dass noch die für das Bedienungspersonal erforderlichen Schutzmassregeln eine solche Isolierung nicht immer zulassen.[1]

2. Einrichtungen,

bei welchen der Funken von isolierenden Stoffen umgeben ist.

443. Funkenstrecke in Öl, Sand oder Holz.

Während bei verschiedenen Anordnungen die Funkenstrecke unter Öl[2] gelegt wird, wird sie bei anderen in eine Schicht von Sand[3] eingebettet.

Blitzableiter dieser Art haben sich wenig eingebürgert, indessen wird das letztere Prinzip jetzt bei der Fabrikation von Schmelzsicherungen in ausgedehntem Masse angewendet;[4] statt Sand wird hier aber Schmirgel, Talkum, Gips gewählt, ferner beruht die Konstruktion von gewissen Hochspannungsschaltern auf dem Prinzip, den Funken unter Öl im Entstehen zu ersticken.[5]

Wurts giebt einen anderen Blitzableiter an,[6] bei welchem die Elektroden durch ein Holzstückchen von 1 cm Dicke voneinander getrennt und ganz in Holz eingepackt sind. In dem trennenden Holzstück sind mit einem glühenden Draht einige Rinnen gezogen, deren Oberfläche dadurch einen dünnen Kohlenüberzug erhält. Ein Lichtbogen kann nicht entstehen, weil einerseits sehr wenig Luft an den Elektroden vorhanden ist, und andererseits die Verbrennung in dem engen eingeschlossenen Raum explosionsartig erfolgt. Der Lichtbogen wird also durch die Verringerung des Volumens bekämpft.

Die Vorrichtungen wurden später noch dadurch verbessert, dass kleine Kanäle in die umgebende Holzschicht gezogen wurden, um ein Zertrümmern des Behälters zu vermeiden, durch welche die warme Luft entweichen konnte.[7]

Siemens & Halske bauten nach dem gleichen Prinzip Hochspannungssicherungen,[8] welche aus einem Schmelzstreifen bestanden, der in Holzbacken eingeschlossen ist. Das Ganze wird mit Papier umklebt, so dass ein Luftzutritt unmöglich ist. An solchen Sicherungen für eine normale Stromstärke von 5 Amp. bei 1500 Volt ist nach dem Durchbrennen äusserlich keine Veränderung erkennbar, so dass man nach Mitteln suchen musste, an denen man sehen konnte, ob eine Sicherung noch in Ordnung war oder nicht.

---

1) Vgl. Hdb. VI, 2: Persönliche Sicherheit.
2) U. S. P. No. 474469; vgl. auch Hdb. VI, 1, S. 374 u. Hdb. VI, 1, S. 401.
3) U. S. P. No. 501241.
4) Siehe Hdb. VI, 1: Sicherungen.
5) Siehe Hdb. VI, 1: Schalter.
6) ETZ 1896, S. 513.
7) U. S. P. No. 532353.
8) ETZ 1896, S. 513.

3. Vorrichtungen, bei denen elektromotorische Gegenkräfte den Kurzschluss vermeiden sollen.

444. Vorrichtung von Thomson.

In der Hauptsache gehören hierher solche Apparate, bei denen galvanische Elemente, die aus Metallplatten und feuchten Zwischenlagen bestehen, gegenelektromotorisch wirken.[1])

THOMSON gab im Jahre 1893 eine Blitzschutzvorrichtung an,[2]) wobei er von der Ansicht ausging, dass eine Dynamomaschine gegen atmosphärische Entladungen nicht geschützt sei, wenn sie mit einem Pol an der Erde, mit dem anderen an der Leitung liege und gleichzeitig im Nebenschluss zu ihr ein Blitzableiter eingeschaltet sei. Er schaltete daher vor die Maschine zwei ineinander liegende Spulen mit wenig Selbstinduktion, gewissermassen einen Transformator ohne Eisenkern, deren innere einige Windungen mehr hat als die äussere. Erfolgt nun durch die innere Spule eine Entladung, so soll in der äusseren eine elektromotorische Gegenkraft auftreten, welche dem Durchgang des Blitzschlages durch diese Spule entgegenwirkt.[3])

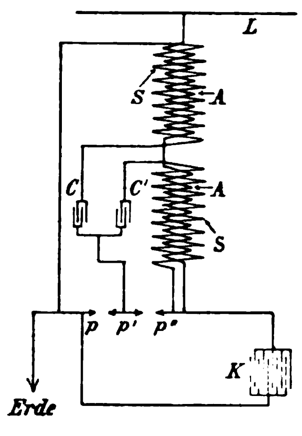


Fig. 338.

Unter Zwischenschaltung von Kondensatoren (Fig. 338) wird diese Anordnung so getroffen, dass die Funkenlänge für die Entladung der atmosphärischen Elektrizität so gross ist, dass der Maschinenstrom einen Kurzschlussfunken nicht aufrecht erhalten kann.[4])

Zwischen Leitung und Funkenstrecke wird eine Induktionsspule mit einer dickdrähtigen und einer dünndrähtigen Spule eingeschaltet. Eine Entladung in die Leitung, also auch in die starkdrähtige Spule A wird durch die Induktion auf die sekundären Windungen S den Kondensator K laden, der sich bei hinreichender Ladung über die Funkenstrecke bei p zur Erde entladet. Die Kondensatoren C und C^1 sollen den Kurzschluss der Leitung L durch S und S^1 verhindern.

4. Einrichtungen, welche den Kurzschlussfunken durch Unterteilung vermeiden.

445. Vorteil der Unterteilung.

Um einen Lichtbogen zu unterhalten, ist eine gewisse Spannung erforderlich, und zwar mindestens von solcher Höhe, als die elektromotorische Gegenkraft des Bogens beträgt; wählt man dann nicht eine Funkenstrecke, sondern unterteilt sie in eine grössere Anzahl, so dass auf jede derselben nur ein Bruchteil der Spannung entfallen kann, die zur Bildung eines Lichtbogens noch ausreicht, so wird ein solcher auch unter der höheren Spannung

1) NEESEN, Sicherungen, S. 49.
2) ETZ 1893, S. 489, ZIELINSKI.
3) ETZ 1896, S. 511, GÖRGES.
4) NEESEN, Sicherungen, S. 50.

nicht stehen bleiben können. Für die Unterteilung spricht ausserdem noch der Umstand, dass die überspringenden kleineren Funken keine erhebliche Erwärmung der Luft herbeiführen, wie sie bei einer grösseren Funkenstrecke auftritt und eine leitende Brücke bildet, über die sich der Lichtbogen immer wieder neu bilden kann. Hierzu tragen allerdings auch die in der Funkenstrecke überspringenden gasförmigen Metalle sehr bei.

446. Apparate nach Wirt.

Wirt verwendet aus diesem Grunde als Elektroden Zink oder Zinn oder deren Legierungen, da zwischen diesen Metallen der Lichtbogen sich viel schwerer bildet, als bei anderen Metallen. Wahrscheinlich kommt dies daher, dass die Dämpfe dieser Metalle schwerer leiten.

Die Löschfähigkeit dieser Blitzableiter wird auch dadurch noch wesentlich erhöht, dass die Metallmassen der Elektroden die von Lichtbogen hervorgerufene Gasbrücke abkühlen und hierdurch die Lichtbogenbildung wesentlich erschweren.

Während in Gleichstromanlagen diese Art von Blitzableitern keine Verwendung finden können, weil der einmal eingeleitete Lichtbogen bestehen bleibt, liegt die Sache beim Wechselstromlichtbogen insofern anders, als dieser während jedes Wechsels einmal erlischt. Zur Unterhaltung des Bogens ist eine Spannung von mindestens 25 Volt erforderlich und wird er daher unterbrochen, sowie die Spannung unter diesen Betrag heruntergegangen ist; er kann sich erst wieder bilden, wenn die Spannung, nachdem sie auf Null heruntergegangen und das Vorzeichnen gewechselt hat, wieder diesen Betrag erreicht hat. Dem Auge sind diese Vorgänge bei der in der Praxis üblichen Periodenzahl nicht wahrnehmbar, sie treten jedoch in so störender Weise auf, wenn die Periodenzahl unter 40 sinkt, dass Bogenlichtbeleuchtung dann nicht mehr möglich ist. Die Eigentümlichkeit des Wechselstromlichtbogens unterstützt aber die Löschwirkung dieser Blitzschutzvorrichtung, indem sie eine allzu grosse Erwärmung der Elektroden nicht hervorruft und diese, wenn sie nur genügend gross sind, kühlend wirken. Der Lichtbogen wird sich überhaupt nicht bilden können, wenn die Spannung nicht an und für sich so hoch ist, dass sie auch in der gewöhnlichen Luft den gegebenen Luftzwischenraum überbrücken würde.

Die bekanntesten Blitzableiter dieser Art sind die von Wirt, welche aus einer Anzahl von Metallplatten bestehen, zwischen welche Glimmerplatten gelegt werden. Bei der ältesten Konstruktion betrug der Durchmesser der letzteren 0,0002 Zoll engl. Unter der Berücksichtigung, dass für je 25 Volt eine Unterteilung entfallen muss, ergeben sich eine grosse Anzahl von Platten, so dass für 1000 Volt eine Funkenstrecke von 8 mm[1]) herankommt. Diese Apparate können daher keinen Anspruch auf grosse Empfindlichkeit machen, zumal die Entfernungen zwischen den einzelnen Platten nicht zu klein gewählt werden können, da sie sonst zusammenschmelzen.

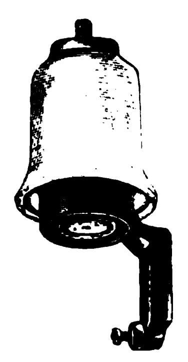


Fig. 339.

Der Scheibenblitzableiter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, bestimmt für Spannungen bis 6000 Volt (Fig. 339), besteht ebenfalls aus einer Reihe übereinander gelegter Metall- und Glimmerplatten. Die oberste ist mit der Luftleitung, die unterste mit der Erde in Verbindung.

1) Benischke, Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik, Braunschweig 1902, S. 15.

Die Entladung geht an der Mantelfläche dieses so gebildeten Zylinders von Platte zu Platte und schliesslich zur Erde.

Verschiedene andere Formen wurden dem Wirtschen Blitzableiter ähnlich ausgebildet. Brown, Boveri & Co.[1]) wählten zwischen den einzelnen Platten Luftisolation, Mühlendorff[2]) Platten aus Kohle mit einer Zwischenlage aus paraffiniertem Papier. Das ganze System (Fig. 340) ist in einem Glaszylinder untergebracht.

Da immerhin die engen Zwischenräume zwischen den Platten leicht zusammenschmolzen und die Empfindlichkeit, wie bereits oben gesagt, keine allzu grosse ist, so wurde diese grosse Unterteilung aufgegeben und grösseres Gewicht auf eine möglichst grosse Abkühlung des Lichtbogens gelegt. Wirt (Westinghouse Elektrizitäts-Aktiengesellschaft) verwendet sieben Walzen[3]) aus Zink und Antimonlegierungen, welche einen Durchmesser von 1,9 cm besitzen. Sie werden mit einem Luftzwischenraum von 0,8 mm voneinander

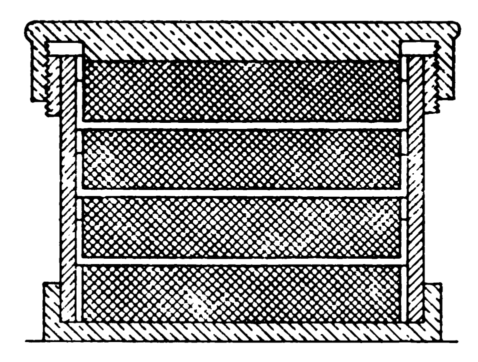


Fig. 340.

montiert, die beiden äusseren an die Leitungen, die mittlere an die Erde gelegt. Diese Walzen sind auf ihrer Oberfläche geriefelt.

Über die Verwendung dieser Blitzableiter giebt die Westinghouse Elektrizitäts-Aktiengesellschaft die folgenden Daten.

Sie werden zum Schutze sowohl für Gleichstrom- wie für Wechselstromkreise hergestellt, und zwar für Wechselstrom nach Type *A*, *C* und nach der Compoundtype *L. E.*, für Gleichstrom nach Type *K*, *L*, *T*, *I* und *J*.

Der Blitzableiter der Type *A* besteht aus sieben voneinander unabhängigen Zylindern aus „funkenfreiem" Metall, welche so nebeneinander aufgestellt sind, dass kleine Luftspalten zwischen ihnen verbleiben.

Die Zylinder sind von einer Marmorplatte getragen und mit gekreuzten Riefen versehen, so dass sie der Entladung eine grosse Zahl von Übergangspunkten bieten.

Die Dynamoklemmen sind mit den beiden äussersten Zylindern verbunden, während der mittelste an Erde liegt.

Der Blitzableiter ist somit doppelpolig, d. h. ein Blitzableiter schützt beide Pole der Leitungen.

1) D. R. P. No. 88 242.
2) ETZ 1894, S. 532.
3) ETZ 1896, S. 512 und El. W. Band 19, S. 245.

Der Blitzableiter der Type *C* (Fig. 341) ist der Type *A* ähnlich, doch werden die Metallzylinder in Porzellanhülsen eingelegt und von einem wetterdichten eisernen Gehäuse behufs Verwendung im Freien eingeschlossen.

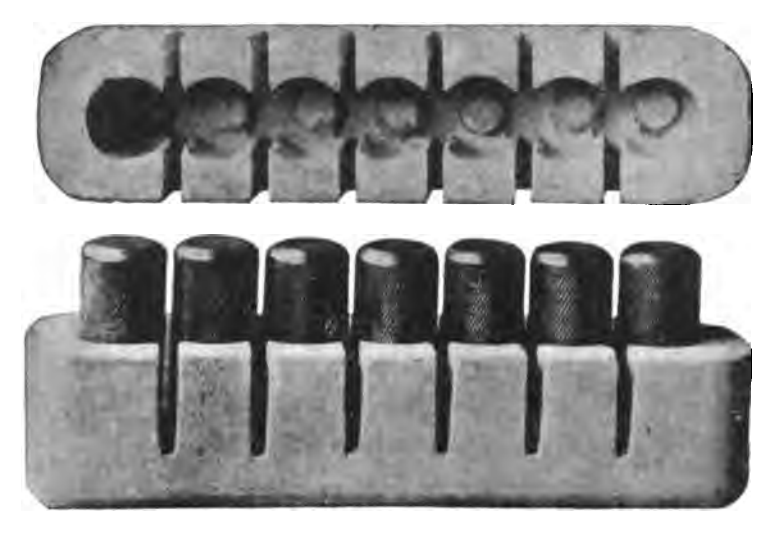


Fig. 341.

Die beiden Typen *A* und *C* sind für 1000—1200 Volt verwendbar; bei 2000—2400 Volt können zwei in Serienschaltung, bei 3000—3200 Volt drei in Serienschaltung verwendet werden.

Die Anordnung für 1000 und 2000 Volt geht aus Fig. 342 hervor.

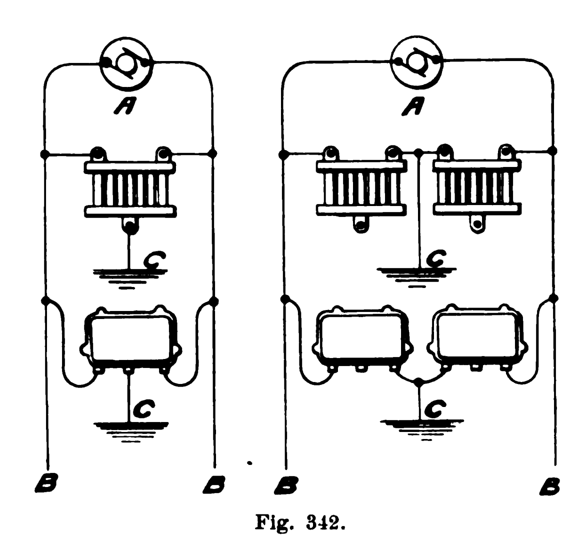


Fig. 342.

Der Blitzableiter Type *L. E.* Für Spannungen über 3000 Volt werden Blitzableiter von der Compoundtype *L. E.* hergestellt, welche im wesentlichen eine Kombination von Funkenstrecken der Type *C* und einer Reihe von Widerständen und Drosselspulen ist, wobei die Anzahl der Elemente, sowie die Schaltung derselben je nach der Spannung verschieden gewählt wird.

Die Anordnung für Stromkreise mit 6000 Volt Spannung ist in Fig. 343 dargestellt. Die Wirkungsweise dieser Anordnung ist nachstehend erläutert:

Die Entladung erfolgt, sobald das Potential soweit gestiegen ist, um die Funkenstrecken *E* überspringen zu können. Ist die Ladung eine hinreichend kräftige, so wird sie bei ihrem weiteren Fortschreiten durch den Nebenschlusswiderstand *R* behindert und geht dann durch die parallel zu demselben geschaltete Funkenstrecke *F* und durch den Hauptstromwiderstand *S* zur Erde über. Der Betriebsstrom, welcher das Bestreben hat, dieser Entladung zu folgen, wird hieran durch die vereinigte Wirkung der Hauptstromfunkenstrecke und der beiden anschliessenden Widerstände gehindert. Die Schutzwirkung wird hierbei ausschliesslich durch die Funkenstrecke *E* ausgeübt, da die mit Nebenschluss versehene Funkenstrecke derart bemessen wird, dass sie durch das Entladungspotential übersprungen wird und die Entladung nur an der Hauptstromstrecke stattfindet. Die Anzahl der Funkenstellen der Hauptstromstrecke ist gerade gross genug, um der Betriebsspannung mit entsprechendem Sicherheitszuschlage zu widerstehen und derartig bemessen, dass dieses auch unter erschwerenden Annahmen, z. B. wenn eine der Leitungen Erdschluss besitzt, mit Sicherheit erfolgen kann. Die neben-

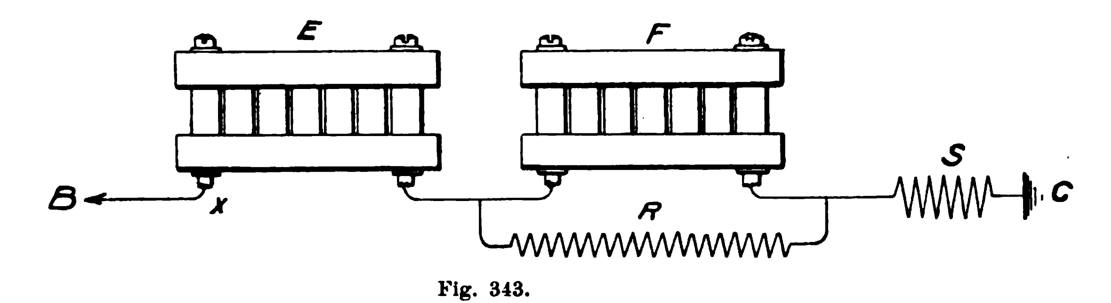


Fig. 343.

geschlossene Funkenstrecke hat die Bestimmung, der atmosphärischen Entladung einen Nebenweg bereit zu halten, da dieselbe durch den im Nebenschluss befindlichen Widerstand hindurchgehen kann. Die Wirkungsweise des letzteren ist eine zweifache:

Er soll zuerst den Betriebsstrom, welcher während des Augenblickes der Entladung durch die entstandenen Lichtbogen nach der Erde wandert, an sich ziehen und zweitens auf diese Weise die im Lichtbogen übergehende Elektrizitätsmenge derartig vermindern, dass die Hauptstromfunkenstelle, welche ohne diese Unterstützung zu gering an einzelnen Übergangsstellen wäre, um erfolgreich wirken zu können, derartig zu verstärken, dass sie zur Unterdrückung des Lichtbogens ausreicht. Die Bestimmung des schwachen Hauptstromwiderstandes, der unmittelbar an Erde geschaltet ist und möglichst induktionsfrei gewickelt ist, besteht darin, den der Entladung folgenden nach Erde fliessenden Betriebsstrom möglichst zu vermindern und auf diese Weise das durch die Lichtbildung hervorgerufene Abbrennen der Funkenzylinder zu verringern. Die Hauptstrom- und Nebenschlussfunkenstrecken bestehen aus einer oder mehreren hintereinander geschalteten Einheiten der Type *R. W.* Dieselbe enthält ebenfalls sieben Zylinder aus nicht funkenbildendem Metall, welche sechs Funkenstrecken bilden und welche durch Porzellanstücke in richtigem Abstande zu einander gehalten werden. Die

Zylinder, sowohl wie die Porzellanblöckchen sind auswechselbar und können die ersteren frei gedreht werden, damit sich immer wieder neue unverbrannte Metallteile gegenüberstehen. Für Stromkreise über 18 000 Volt wird zu den in Reihe geschalteten R. W.-Einheiten eine verstellbare Hilfsfunkenstrecke verwendet. Dieselbe wird zwischen die Leitung und die Hauptstromfunkenstrecke geschaltet. Sie gestattet eine gewisse Einstellbarkeit des Apparates. Es ist namentlich möglich, die Funkenpole durch eine Drehung der Kopfschraube um 0·8 mm zu verstellen. Die normalen Compound-Blitzschutzvorrichtungen

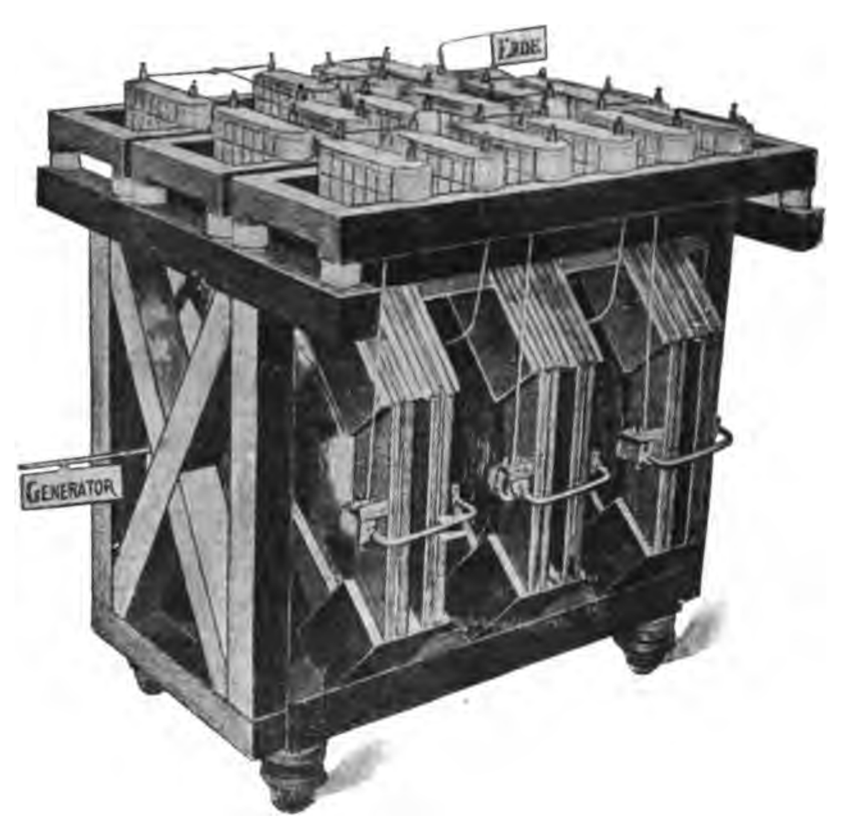


Fig. 344.

sind für Anbringung in gedeckten Räumen gebaut, und zwar für alle auftretenden Spannungen bis zu den höchsten derzeit im Gebrauch befindlichen. Für Anbringung im Freien werden dieselben listenmässig bis 6000 Volt hergestellt.

Um die grosse Anzahl von Apparaten kompendiös zusammenzufassen, wird die Anordnung nach Fig. 344 getroffen. Im oberen Teil eines Holzgerüstes sind die Funkenstrecken, im unteren die Spulen untergebracht.

Die Gesamtlänge der Funkenstrecke eines Poles, sowie die auf einem Luftzwischenraum zwischen den Walzen von 0·8 mm entfallende Betriebsspannung wird im folgenden zusammengestellt. (Westinghouse Elektrizitäts-Aktiengesellschaft.)

Tabelle No. 96.

Betriebsspannung Volt	Anzahl der Funkenstrecken jeden Poles	Funkenstrecke eines Poles mm	Auf einem Luftzwischenraum von 0·8 mm entfallende Betriebsspannung Volt
1 200	3	2·4	200
2 400	6	4·8	200
3 000	9	7·2	170
5 000	15	12·0	170
8 000	24	19·2	170
10 000	30	24·0	170
15 000	42	36·0	180

Auf demselben Prinzip wie der Blitzableiter von WIRT beruht der Walzenblitzableiter von SIEMENS & HALSKE, der in Fig. 346 im offenen und geschlossenen Zustand gezeigt wird.

Die Union, Elektrizitäts-Gesellschaft, und die General-Electric-Co. verwenden Blitzableiter, deren Walzen einen Durchmesser von 5 cm und die gleiche Höhe besitzen. Die Funkenstrecke der Apparate der Union Elektrizitäts-Gesellschaft beträgt 0·8 mm, der der General-Electric-Co. 1·5 mm. Beide Firmen schalten Graphitstäbe vor, um den Kurzschlussstrom nicht zu stark anwachsen zu lassen.

Fig. 345 zeigt einen doppelpoligen Blitzableiter der Union für 1000 Volt, Fig. 349 denselben für die Montage im Freien in einem gusseisernen Kasten montiert und Fig. 347 einen einpoligen für 2000 Volt.

Bei den Blitzableitern der General-Electric-Co. entfällt bei einer Betriebsspannung von 1000 Volt auf eine Funkenstrecke von 1·5 mm 500 Volt, bei der Betriebsspannung von 15 000 Volt auf dieselbe Strecke (die Gesamt-Funkenstrecke eines Poles beträgt für diese Spannung 36 mm) 310 Volt.

Die Bedienung aller derartigen Blitzableiter ist einfach; ihre Funkenstrecken müssen staubfrei gehalten werden. Beim Überschlagen bildet sich auf der Oberfläche der Walzen eine Oxydschicht, die den späteren Entladungen hinderlich sein kann. Durch eine geringe Drehung der Walzen stehen sich aber unverbrannte Teile derselben wieder gegenüber und der Blitzableiter ist von neuem betriebsfähig.

Auf der Teilung der Entladung beruht auch ein von KALLMANN[1]) beschriebener Blitzableiter (Fig. 348), der aus einem massiven ca. 20 cm langen Thonzylinder besteht, der der Länge nach von etwa 15 bis 20 Bohrungen von 5 mm lichter Weite durchsetzt ist. Durch jedes dieser Löcher ist ein etwa 1 mm dicker Draht gesteckt. Die oberen Enden werden in einem geringen Abstand von der aus Messing bestehenden oberen Messingplatte gehalten, die unteren Enden sind mit der geerdeten Bodenplatte verbunden.

Flüssigkeits-Blitzableiter: Den SIEMENS-SCHUCKERT-Werken ist eine Blitzschutzvorrichtung für Starkstromanlagen durch Patent No. 142 510 geschützt. In Fig. 350 ist dieselbe in Seitenansicht und Querschnitt dargestellt. Sie weichen nur durch die Art des Materials von den Apparaten des WIRTschen Prinzipes ab.

1) ETZ 1893, S. 665.

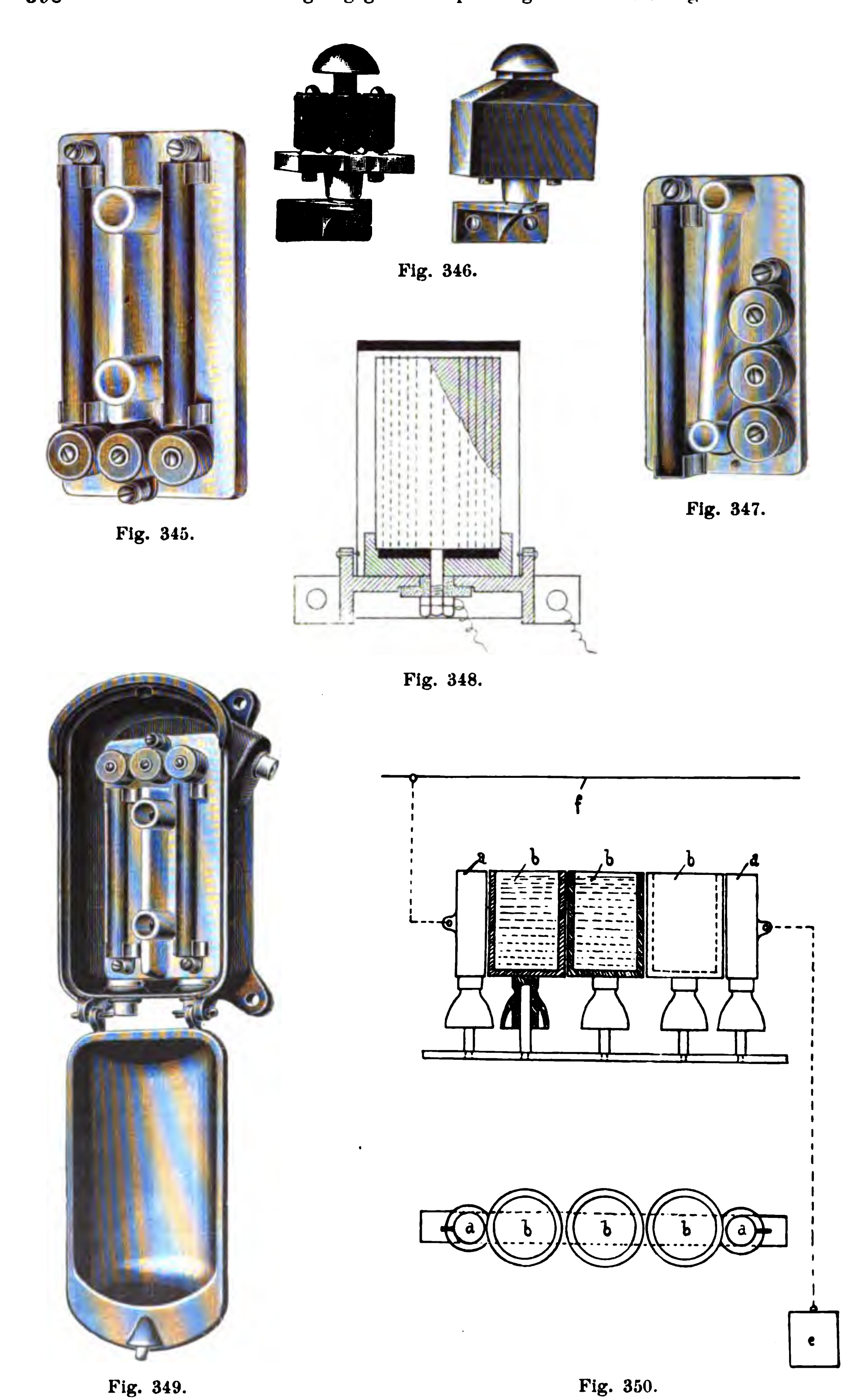


Fig. 345.

Fig. 346.

Fig. 347.

Fig. 348.

Fig. 349.

Fig. 350.

Zwischen den isoliert aufgestellten Metallkörpern *a* sind ein oder mehrere Flüssigkeitsbehälter *b* aus porösem, stark hygroskopischem Material mit geringen Funkenstrecken bildenden Luftzwischenräumen isoliert angeordnet. Die Hohlzylinder *b* werden mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser gefüllt, welches die poröse Wand durchdringt und die Oberfläche mit einer dünnen, gleichmässigen Schicht der Flüssigkeit überzieht, so dass ein vollständiger Flüssigkeitskörper entsteht.

Bei einer Entladung verdampft der sehr klein auftretende Lichtbogen an seinen Entstehungspunkten das Wasser, wodurch der Übergangswiderstand wächst. Wird die Oberfläche infolge Verdampfens des Wassers völlig trocken, so steigt der Widerstand derart, dass der Lichtbogen erlischt. Da die Flüssigkeit sofort von innen wieder nachdringt, ist der Apparat stets bereit, neue Entladungen aufzunehmen.

An Stelle der Flüssigkeitsbehälter können auch Isolatoren treten, die mit einer porösen Schicht überzogen sind und durch Auftropfen oder Ansaugen von Flüssigkeit genügend leitend erhalten werden.

Schliesslich können auch für die beiden Metallrollen *a* am Anfang und Ende auch Flüssigkeitskörper eintreten, welche metallisch armiert sind, oder in welche Metallelektroden zum Anschluss der Leitungen eingesetzt werden.

Die Wartung dieser Apparate ist jedoch schwierig, da immer wieder Wasser nachgegossen werden muss.

5. Einrichtungen mit direkter mechanischer Bewegung der Teile, zwischen denen Funken übergehen.

447. Zwei Beispiele.

Diese Vorrichtungen werden nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt, da sie praktisch nicht erprobt worden sind.

Sie werden direkt auf der Maschine angebracht, und während die eine Entladungsplatte still steht, wird die andere auf der Welle gedreht. Für Gleichstromanlagen werden Kondensatoren eingeschaltet, welche von der Leitung aus durch eine rotierende Bürste abwechselnd geladen werden, während eine zweite die Ladung immer wieder zur Erde abführen soll.

Eine ähnliche neuere Vorrichtung sei im folgenden noch erwähnt[1]) (Fig. 351).

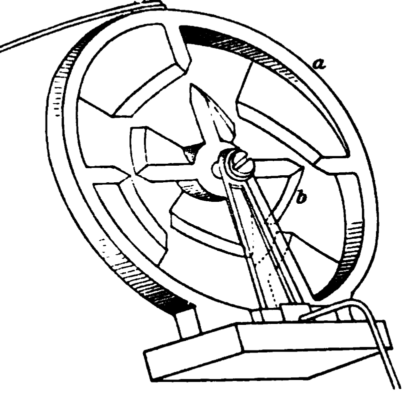


Fig. 351.

Die Entladungskörper befinden sich in relativer Bewegung gegeneinander. Die zahnartig ausgebildeten Übergangsteile sind derart angeordnet, dass die Übergangspunkte der Entladung stets wechseln, ihre Entfernung dagegen stets dieselbe bleibt. Die schneidenförmigen Übergangsteile des äusseren ringförmigen Entladungskörpers *a* und des inneren sternförmigen sich drehenden Körpers *b* sind gekreuzt zu einander angeordnet, derart, dass bei der Drehung die Schneiden mit stets wechselnden Punkten gegenüber stehen und die kürzeste Entfernung voneinander stets gleich bleibt.

1) D. R. P. No. 106677.

6. Einrichtungen, bei denen der Kurzschlussfunken durch mechanische Wirkung mit Hilfe von Elektromagneten gelöscht wird.

448. Apparate von Law, Turbaye, A. E.-G., Siemens & Halske.

Bei der Entladung wird die Funkenstrecke unter der Einwirkung eines Elektromagneten soweit verlängert, bis die Spannung nicht mehr ausreicht, um den Lichtbogen zu unterhalten.

Bei dem Blitzableiter von LAW wird die Funkenstrecke durch zwei gezahnte Kohlenplatten gebildet,[1]) deren eine *a*, welche feststeht, mit der Erde verbunden ist; in die Erdleitung ist jedoch die Spule *s* eingeschaltet, die während einer Entladung erregt wird, den Anker anzieht und die bewegliche Platte *b* von *a* abhebt (Fig. 352).

TURBAYE[2]) wendet eine Konstruktion (Fig. 353) an, bei welcher durch einen Elektromagneten ein Hebelarm angezogen

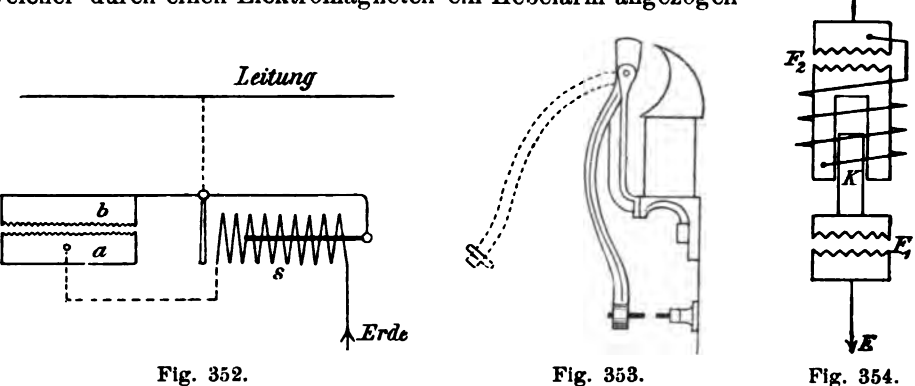


Fig. 352. Fig. 353. Fig. 354.

wird, an dessen Ende sich eine Kohlenspitze befindet. Diese bildet mit einer anderen feststehenden und mit der Erde verbundenen die Funkenstrecke.

Eine andere von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gebaute Art erläutert Fig. 354. Ein Hohlzylinder *K*, welcher unten beweglich angeordnet eine geriffelte Messingplatte trägt, ragt in ein Solenoid hinein. Der Messingplatte steht eine zweite gegenüber. Beide bilden die Funkenstrecke F_1. Der Hohlzylinder *K* ist so angeordnet, dass der Kern der Platte in die Spule hineingezogen werden kann. Eine zweite unveränderliche Funkenstrecke F_2 von 1·5 mm Länge ist über der Spule angeordnet. Zu dieser ist die Solenoidwicklung parallel geschaltet. Im Zustand der Ruhe hat die Funkenstrecke F_1 eine Länge von 1 mm. Bei *L* wird die Leitung, bei *E* die Erdleitung angeschlossen, so dass eine Entladung über beide Funkenstrecken zur Erde abgeleitet werden kann. Folgt der Entladung ein Maschinenstrom nach, so geht er zum Teil durch die Funkenstrecken, zum Teil durch die Spule. Hierdurch wird der Hohlzylinder angezogen und die Entfernung bei F_1 so vergrössert, dass der Funke erlischt. Dann ist aber die Spule wieder stromlos und der Kern fällt wieder herab, so dass der Blitzableiter bereit ist, neue Entladungen aufzunehmen.

1) Lum. électrique Band 30, S. 143.
2) U. S. P. No. 500 828.

Dieser Blitzableiter ist wirksam für eine Netzspannung von 250 Volt Gleichstrom bezw. 400 Volt Wechselstrom.

Siemens & Halske bauten eine ähnliche Vorrichtung (Fig. 355), bei der jedoch drei Funkenstrecken vorhanden sind; hier liegt die Spule des Solenoid im Nebenschluss zur zweiten Funkenstrecke, die dritte ist in einem Gefäss untergebracht, welches mit Öl gefüllt ist, so dass der bei der Entladung entstehende Funke unter Öl erstickt wird. Der Apparat ist in Gleich- und Wechselstromanlagen für 1000 Volt verwendet worden. Bei den beiden zuletzt erwähnten Apparaten sind die oberen Funkenstrecken nur erforderlich, um der Entladung einen möglichst induktionsfreien Weg zur Erde zu bieten, anderenfalls würde die Selbstinduktion der Spule der sicheren Ableitung entgegenwirken.

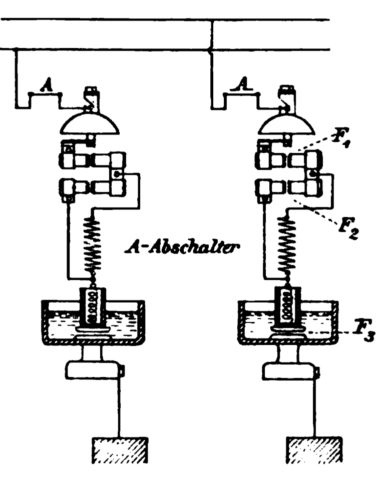


Fig. 355.

Erwähnt seien noch die Blitzableiter, bei denen das Solenoid ständig erregt ist und seinen Anker so lange angezogen hält, bis ein bei der Entladung auftretender Lichtbogen die Spule kurzschliesst. Hierdurch stromlos geworden, lässt sie den Anker los, der nun seinerseits durch sein Gewicht eine bewegliche Funkenstrecke vergrössert und den Lichtbogen zum Erlöschen bringt.[1])

Schliesslich sind auch noch Konstruktionen vorhanden, bei denen isolierende Platten (Glimmer, Asbest) in die Funkenstrecke geschoben werden. Ihre Auslösung erfolgt ebenfalls durch Solenoide.[2])

7. Einrichtung mit Abreissvorrichtungen durch Erwärmung fester Körper.

449. Apparate von Siemens & Halske. Amerikanische Vorrichtungen.

In der Regel sind Schmelzsicherungen vor andere Blitzableiter geschaltet, um, wenn der Entladung ein Kurzschluss folgt, den Strom zu unterbrechen. Siemens & Halske verwendeten in Maschinenhäusern, wo genügend Personal zur Wartung vorhanden, mehrere parallel geschaltete Blitzableiter mit vorgeschalteten Sicherungen. Wurde eine derselben durch eine Entladung zerstört, so waren die anderen zur Aufnahme neuer Entladungen bereit.[3])

Eine auch für Starkstromsicherungen gewählte Anordnung gehört hierher, bei der der Schmelzdraht innerhalb der Kammer, in welcher er untergebracht ist, noch durch eine Trennungswand geführt wird, welche das Stehenbleiben des Lichtbogens verhindern soll,[4]) ferner die Fallschiebersicherungen von Siemens & Halske, bei denen der Schieber unter Federkraft

1) El. Eng. New York, Band 12, S. 372.
2) U. S. P. No. 492 219.
3) ETZ 1896, S. 511.
4) D. R. P. No. 82 455.

auf den Schmelzstreifen drückt und sich beim Abschmelzen sofort in die Funkenstrecke schiebt.

Bei anderen derartigen Apparaten ist der unterbrechende Teil in ein schmelzbares Dielektrikum gebettet, welches bei der Entstehung des Lichtbogens schmilzt, die Leitungen einhüllt und so den Bogen unterbricht.

Es sind noch Konstruktionen bekannt, bei denen Wachskügelchen bei der Erwärmung die beweglichen Teile eines Blitzableiters auslösen[1]) oder wo Explosionskörper die treibende Kraft bilden, welche entweder den Lichtbogen mechanisch unterbrechen[2]) oder ihn durch den bei der Explosion entstehenden Luftdruck ausblasen.[3])

8. Einrichtungen, bei denen der Funken die Luft erwärmt und der hierbei auftretende Luftzug den Lichtbogen auslöscht.

450. Pendelapparate. Die einfachste derartige Vorrichtung[4]) besteht aus einem kurzen in einem Gehäuse untergebrachten Pendel, welches im Abstande von etwa 1 mm über einer am Boden auf einer isolierenden Platte befindlichen festen Elektrode hängt. Das Pendel, aus einer Metall- oder Kohlenkugel bestehend, hängt durch einen Metalldraht an einem kleinen Metallgalgen, welcher mittels einer Stellschraube von aussen gehoben oder gesenkt werden kann, um auf diese Weise die Funkenstrecke einstellen zu können. Während die Aufhängung an Erde gelegt ist, wird der feste Gegenpol an die Leitung angeschlossen. Bei einer Entladung wird durch die in dem abgeschlossenen Gehäuse auftretende momentane Temperatursteigerung und Ausdehnung der Luft, sowie durch die Reaktionswirkung das leichte Pendel zur Seite geschleudert, und der durch den nachfolgenden Maschinenstrom herbeigeführte Bogen auseinandergerissen.

Wurts wählt zwei aufgehängte Kugeln, welche sich berühren, bei einer Entladung aber auseinandergetrieben werden.[5]) Dieser Apparat wurde mehrfach umgestaltet und nahm schliesslich die von der Westinghouse-Co. vertriebene und in Fig. 356 abgebildete Form an.[6]) Hierbei stehen sich drei Kohlenelektroden mit einem Zwischenraum von je 1 mm gegenüber. Die beiden seitlich angeordneten sind leicht drehbar angeordnet und ragen durch nicht zu weite Öffnungen, welche noch durch Gummiplättchen abgedichtet werden, in das Innere des Gehäuses. Der Blitzableiter ist doppelpolig, und wird daher jede der seitlichen Kohlen mit einem Pol verbunden. Die mittlere Elektrode liegt an Erde. Der bei der Entladung auftretende Lichtbogen erwärmt die im Inneren des Gehäuses befindliche Luft

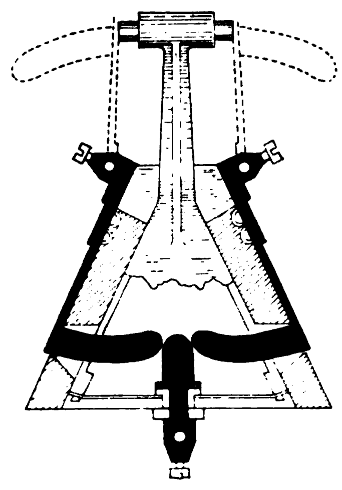


Fig. 356.

1) Western E., Band 8, S. 41.
2) U. S. P. No. 46 249.
3) Western E., Band 7, S. 68.
4) ETZ 1893, S. 667.
5) El. W., Band 16, S. 96.
6) Kallmann, ETZ 1893, S. 667.

so intensiv und schnell, dass die beiden beweglichen Arme auseinandergeschleudert und in die punktiert angedeutete Stellung gebracht werden. Nachdem der Lichtbogen auf diese Art auseinandergerissen wurde, fallen beide Arme in ihre Ruhelage zurück und können sofort wieder neue Entladungen aufnehmen.

Wird der Blitzableiter einpolig verwendet, so fällt die mittlere Elektrode weg und der eine Hebel wird an die Leitung, der andere an Erde gelegt.

Statt der in Fig. 356 gekennzeichneten Form der beweglichen Elektroden können sie auch zackig oder kammförmig ausgebildet werden.[1])

9. Blitzschutzvorrichtungen mit Vorrichtungen zum Auslöschen des Funkens, auf der direkten Wirkung des Magneten auf den Lichtbogen beruhend.

451. Apparate von Thomson, Siemens & Halske, Gola.

THOMSON[2]) ordnet vier Platten von der in Fig. 357 u. 358 gekennzeichneten Form so nebeneinander an, dass sie zwei Funkenstrecken bilden. Die beiden äusseren Platten werden mit den Leitern L und L_1 verbunden. Alle vier

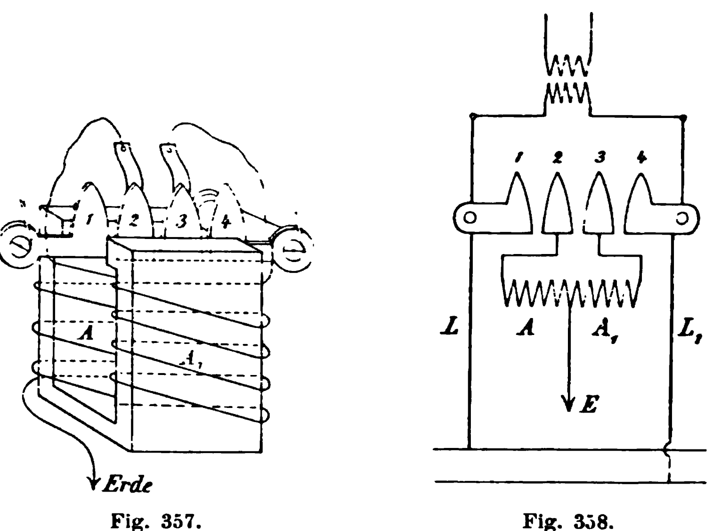
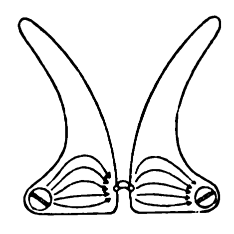


Fig. 357. Fig. 358.

Platten liegen zwischen den Polen eines Elektromagneten A, in dessen Wicklungsmitte eine Erdleitung angeschlossen ist. Die Spule des Magneten ist an den Platten 2 und 3 angeschlossen. Tritt eine Entladung ein, so wird sich eine Funkenstrecke von 1 nach 2 und von 4 nach 3 bilden und geht von diesen Platten über die Magnetwicklung zur Erde. Der auftretende Kurzschluss erregt den Magneten, durch dessen Wirkung der Lichtbogen an den Platten in die Höhe getrieben wird.

Die Form der verwendeten Platten ist verschieden, die eine ist aus Fig. 357 ersichtlich, eine andere aus Fig. 359. Die Löschwirkung wird durch Luftzugwirkung unterstützt, die allein aber nicht genügt. Nach der zuletzt

1) KLEYSTONE, Lumière électrique. Band 51, S. 419.
2) D. R. P. No. 52 739.


Fig. 359.

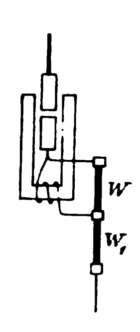
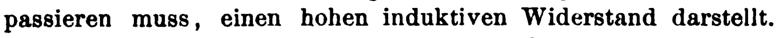
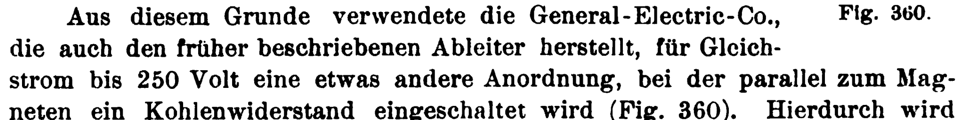


Fig. 360.

skizzierten Art heissen diese Schutzvorrichtungen Hörnerblitzableiter. Um das Überspringen der Funken auf die Hörner zu vermeiden, sind diese mit einer starken Schicht von Isoliermaterial überzogen und auch auf einer solchen befestigt.

Ein Fehler dieser Vorrichtung ist aber der, dass die Magnetwicklung, welche die Entladung auf dem Wege zur Erde stets  passieren muss, einen hohen induktiven Widerstand darstellt.

Aus diesem Grunde verwendete die General-Electric-Co., die auch den früher beschriebenen Ableiter herstellt, für Gleich-  strom bis 250 Volt eine etwas andere Anordnung, bei der parallel zum Magneten ein Kohlenwiderstand eingeschaltet wird (Fig. 360). Hierdurch wird

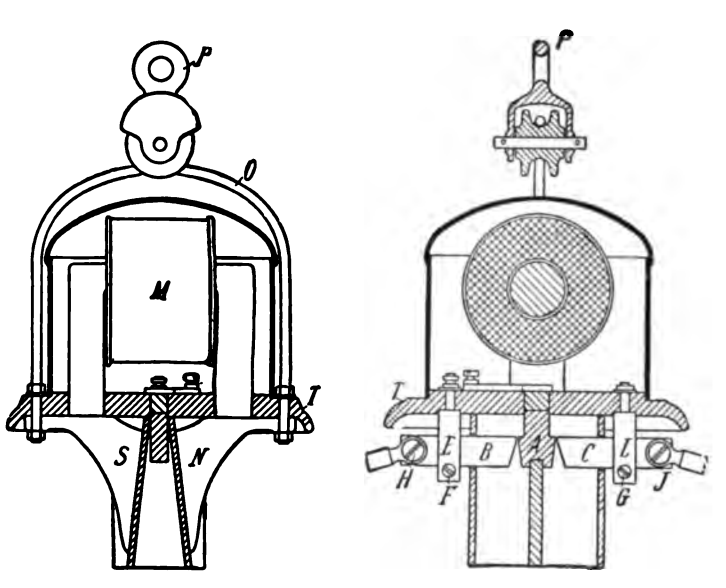


Fig. 361.

erreicht, dass der grössere Teil des Kurzschlussstromes zwar durch den Magneten geht, der atmosphärischen Entladung aber der induktionsfreie Weg über den Kohlenwiderstand W frei steht. Um den Kurzschlussstrom nicht zu stark werden zu lassen, ist noch ein Kohlenwiderstand W_1 vorgeschaltet.

Siemens & Halske verwenden mit gutem Erfolge den in Fig. 361 und 362 dargestellten Blitzableiter mit elektromagnetischer Funkenlöschung. Derselbe hat zwei hintereinandergeschaltete Funkenstrecken, die zwischen drei Metallstücken gebildet werden; von diesen ist das mittlere A fest gelagert, die beiden seitlichen B und C dagegen in ihren Lagern E und L verstellbar angeordnet. B wird mit Erde, C mit der Leitung verbunden. Die beiden Funkenstrecken liegen im Felde eines kräftigen Elektromagneten mit den Polen N und S, dessen erregende

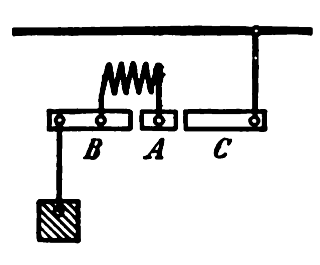


Fig. 362.

Spule *M* zwischen die Metallstücke *A* und *B*, also parallel zur Funkenstrecke geschaltet ist. Funkenstrecke und Pole des Elektromagneten befinden sich unterhalb eines Ambrointellers *T*, die Spule oberhalb desselben, durch eine besondere Kappe gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt.

Während nun die Entladung auf dem geradesten Wege zur Erde gelangen kann, teilt sich ein etwa nachfolgender Maschinenstrom in zwei Teile, von denen der eine durch die Funkenstrecke *AB*, der andere durch die Magnetwicklung fliesst und diese erregt. Der Lichtbogen wird nach unten ausgeblasen.

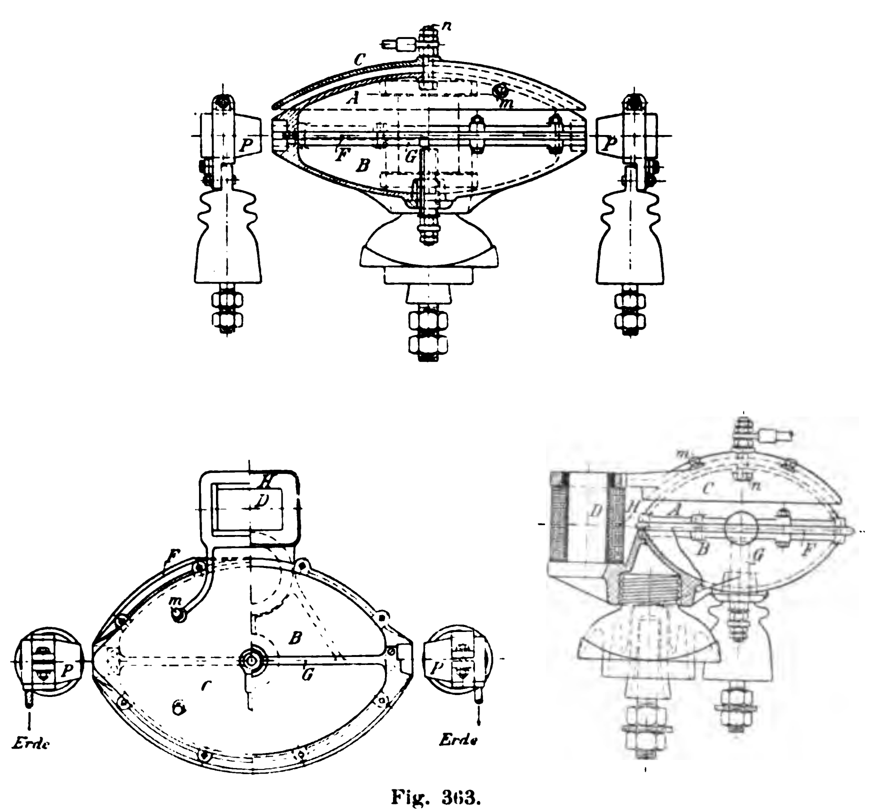


Fig. 363.

Gola beschrieb auf einem in Mailand gehaltenen Vortrage[1]) einen von ihm konstruierten Blitzableiter (Fig. 363), der im wesentlichen aus zwei eisernen Kalotten *A*, *B* besteht, welche mit einem äusseren nicht magnetischen Metallüberzug versehen, beispielsweise elektrolytisch verkupfert sind oder dergleichen. Beide Kalotten sind mit Flanschen versehen und unter Einlage eines Rahmens *F* aus Zink zusammengeschraubt. Das Zink steht etwas hervor, so dass es eine ringsum laufende Rippe bildet.

Das Ganze bildet einen Hohlkörper von der Form eines Ellipsoides. Darüber befindet sich eine Schale *C* aus Eisen, welche sich in ihrer Form dem Hohlkörper anpasst und denselben bedeckt, so dass eine gleichmässige Luftschicht dazwischen bleibt. Die Schale *C* wird von dem Eisenkern *D* eines Elektromagneten getragen. Seine Erregerspule *H* ist in die Leitung

1) ETZ 1902, S. 456. Wird jetzt von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gebaut.

eingeschaltet, so dass, wenn diese vom Strom durchflossen wird, die Teile *B* und *C* die äusseren Pole des Elektromagneten werden, zwischen denen sich die Kalotte *A* ebenfalls magnetisiert befindet. Dabei werden zwei magnetische Felder gebildet, eines in dem Luftzwischenraum *AC*, das andere in dem durch das Zink hergestellten Zwischenraum.

Die Schale ist mit der Kalotte *A* durch vier Metallschrauben *m* zusammengehalten, welche gestatten, den Luftzwischenraum zu regulieren, und ferner durch einen metallischen Bolzen *n* befestigt, welcher gleichzeitig als Leitungsklemme dient. Ein *T*-förmiger Leiter *G* stellt die Verbindung des Inneren der unteren Kalotte *B* nach aussen her und schliesst sich an die Erregerspule des Elektromagneten. Die Anordnung wird vervollständigt durch zwei Kohlekörper *P*, welche auf besonderen Isolatoren montiert und zur Erde abgeleitet sind. Sie sind den spitz zulaufenden Enden des Hohlkörpers gegenüber angebracht und ihre Entfernung ist regulierbar.

Die Aussenleitung wird in die obere Klemme *n* eingeführt, während das Ende der Maschinenleitung an *G* angeschlossen wird. Die Erregerspule *H* liegt also in Serie zur Leitung.

In dieser Anordnung funktioniert der Apparat folgendermassen: Die atmosphärische Entladung folgt dem Leitungsdraht, bis sie an dem nach aussen konvexen Leiter *C* ankommt und verteilt sich auf diesem. Von hier kann sie sowohl durch den Luftraum zwischen *C* und *A*, als auch durch den Bolzen *n* und die Stellschrauben *m* auf *A* übergehen. Die Ladung, welche nun auf dem hohlen, in allen Teilen seiner Oberfläche verschieden geformten Ellipsoid angekommen ist, wird sich alsdann in einer bestimmten Weise verteilen. Von hier stehen zwei Wege für die Fortleitung offen, der eine über die Funkenstrecken *PP* zur Erde, der andere zur Maschine durch *B* und *G*. Durch die Wirkung der starken magnetischen Felder zwischen *C* und *A* und zwischen *A* und *B* wird aber die Entladung nach dem Rande des Ellipsoides hingedrängt und so zum Überspringen der beiden Funkenstrecken veranlasst, so dass der Weg über *B* und *G* als praktisch unpassierbar angesehen werden kann.

10. Einrichtungen auf elektrodynamischer Wirkung des Lichtbogens beruhend.

452. Hörnerblitzableiter.

Die Hörnerblitzableiter von Siemens & Halske[1]) bestehen aus zwei starken auf Isolatoren befestigten Kupferdrähten, deren unterer Teil verschiebbar angeordnet ist, um die Funkenstrecke möglichst genau und bequem einstellen zu können. Der eine der Drähte wird an eine Erdleitung angeschlossen, der andere an die zu schützende Leitung. Findet eine Entladung über den Blitzableiter statt, so bildet diese in der Funkenstrecke einen Lichtbogen, welcher an den Hörnern in die Höhe wandert und schliesslich erlischt. Die ursprüngliche Form des Blitzableiters ist in Fig. 364 dargestellt; es stellte sich jedoch heraus, dass bei dieser Form der Lichtbogen nicht mit Sicherheit in die Höhe, sondern ab und zu auch nach unten wanderte. Es rührt dies daher, dass die Hörner in der Mitte gehalten wurden, von wo aus auch der Maschinenstrom über die Polhörner in den

1) D. R. P. No. 91133.

Lichtbogen eintritt. Wenn unterhalb dieser Eintrittsstelle ein Lichtbogen auftritt, so treibt ihn die aufsteigende warme Luft zwar nach oben, die elektrodynamische Wirkung aber nach unten.

Faraday hat nachgewiesen, dass ein Stromkreis seine Fläche zu vergrössern sucht, wenn ein Teil desselben beweglich ist. Er verband zwei parallele Quecksilberrinnen durch einen auf dem Quecksilber schwimmenden Kupferdraht. Wird das Quecksilber und der Kupferdraht von einem Strom durchflossen, so wird der Kupferbügel so vorwärts getrieben, dass die vom Strom durchflossenen Teile der Rinnen länger werden. Dieser Vorgang entspricht dem Vorgang im Blitzableiter. Fliesst in dem linken Draht *A* (Fig. 365 a) der Strom von oben, in dem anderen

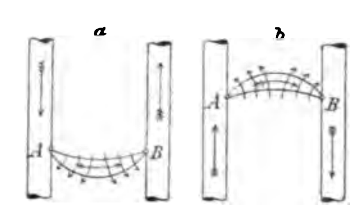


Fig. 365 a. Fig. 365 b.

Fig. 364.

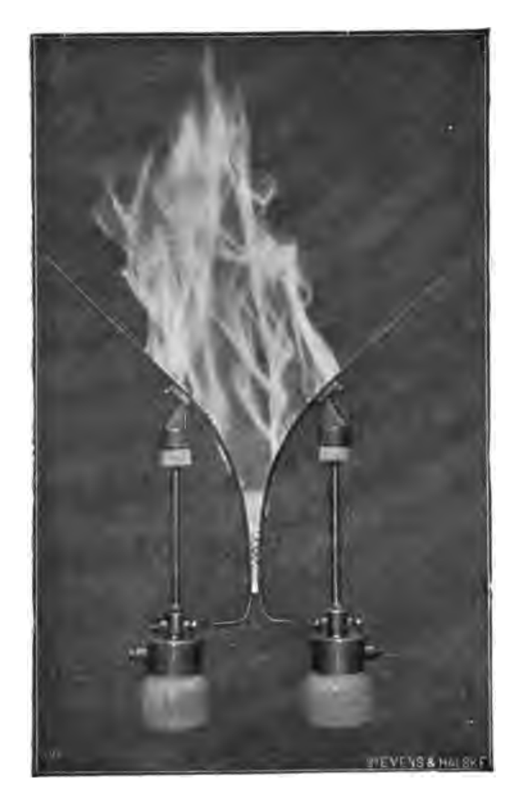
Fig. 366.

nach oben, so dass der Lichtbogen der unterste Teil der Strombahn ist, so wird der Lichtbogen nach unten getrieben. Um dieses zu vermeiden, wurde die Konstruktion des Blitzableiters derart abgeändert, dass der Stromzutritt stets von unten erfolgen muss, so dass der Lichtbogen den oberen Teil der Strombahn bildet (Fig. 366). Der feste Teil der Strombahn übt dann auf den beweglichen Lichtbogen ein Drehungsmoment aus, und ist bestrebt, ihn parallel zu den Stangen zu stellen. Infolgedessen kann in Fig. 365 b der Punkt *A* als Drehpunkt gedacht werden, um welchen sich der Lichtbogen nach oben bewegt, und infolgedessen bei *B* in die Höhe wandert. Im nächsten Augenblick ist *B* der Drehpunkt und der Bogen wandert bei *A*. Bei niedrigen Spannungen wird der Lichtbogen nicht mit Sicherheit in die Höhe getrieben, so dass als Mindestspannung 2000 Volt verlangt werden. Je höher die Spannung ist, um so schneller und intensiver wird der Bogen gelöscht.

Die Fig. 367 a u. b zeigt den Blitzableiter in Thätigkeit, und zwar einmal in einer Daueraufnahme von etwa zwei Sekunden (Fig. 367 a). Bei diesem Bild kann man die Stromwechsel erkennen und daher die Zeit bestimmen, welche

erforderlich ist, um den Lichtbogen in die Höhe zu treiben. Das zweite Bild giebt eine Aufnahme mit Hilfe einer rotierenden Scheibe wieder, die einen schmalen radialen Schlitz hatte.

Diese Blitzableiter werden so eingestellt, dass die Funkenstrecke für je 1000 Volt 1 mm beträgt, innerhalb von Gebäuden soll sie aber mindestens 3 mm, im Freien mindestens 10 mm betragen, um Kurzschlüsse durch Insekten, Regentropfen u. s. w. möglichst zu vermeiden; bei höheren Spannungen ist es zulässig, den Abstand etwas kleiner wie vorher angegeben zu wählen, bei 20000 Volt etwa 17 mm.



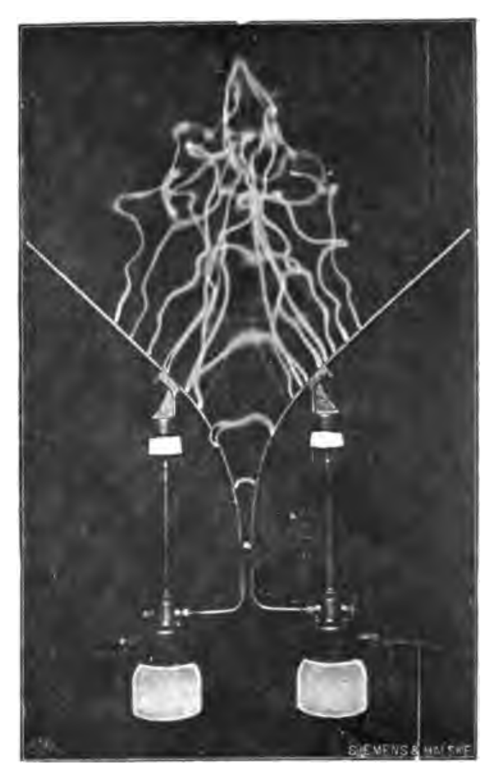


Fig. 367.

Die vorstehend beschriebenen Blitzableiter sind nur für Spannungen über 2000 Volt geeignet, es gelang jedoch eine Form des Hörnerblitzableiters zu finden, welche für Gleichstromanlagen gut geeignet und im Bahnbetrieb vielfach angewendet wird. Die Funkenstrecke beträgt bei 500 Volt 3 mm. Fig. 368 zeigt diese Konstruktion, welche zur Montage auf Strassenbahnmasten bestimmt ist, Fig. 369 die entsprechenden Wagenblitzableiter.

Brown, Boveri & Co. verwenden die folgenden Blitzableiter[1]) (Fig. 370). Um einen mit der Erde in Verbindung stehenden geraden kurzen Leiter *e* sind eine der Anzahl der Leitungen entsprechende und mit denselben in Verbindung stehende Anzahl von Entladestäben *h* symmetrisch angeordnet, die auf einem Teil mit dem mittleren Leiter *e* parallel laufen und alsdann

1) D. R. P. No. 114056.

nach Art der Hörnerblitzableiter in schräger Richtung auseinandergehen und in Spitzen enden. Auf diese Weise können gleichzeitig mehrere Leitungen geschützt werden.

Eine andere Form des Hörnerblitzableiters ist von MÜLLER[1]) angegeben (Fig. 371). Sie besteht aus zwei sich kreuzenden Leitungen, an deren engster Stelle, also an der Kreuzungsstelle, der Lichtbogen eingeleitet wird und in-

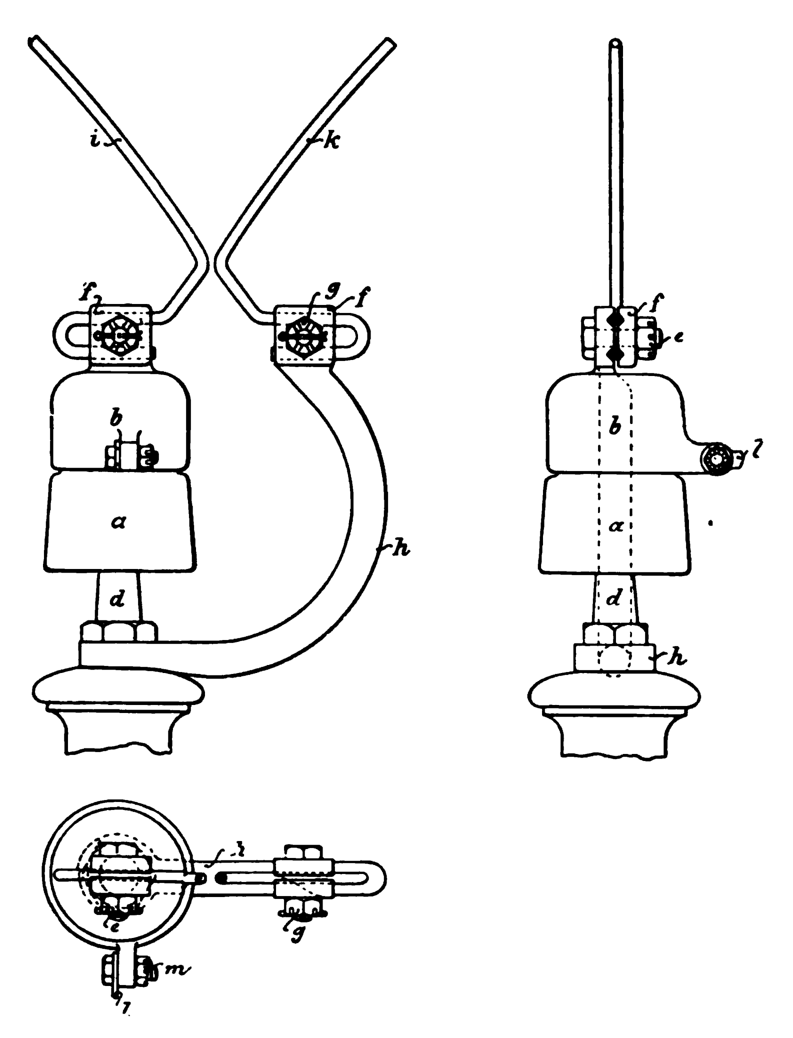


Fig. 368.

folge der elektrodynamischen Wirkung an den Hörnern hinaufwandert und schliesslich erlöscht.

Von LAHMEYER werden ein oder mehrere OHMsche oder induktive Widerstände *W* in eine oder mehrere in die Hörner des Blitzableiters eingefügte Unterbrechungsstellen *a b* eingeschaltet. Die zwischen der Funkenstrecke des Blitzableiters übergehende statische Entladung findet daher beim Abfliessen

1) ETZ 1901, S. 601.

in die Erde bei E einen verhältnismässig geringen Widerstand, während der Maschinenstrom, welcher dieser Entladung folgt, mit dem Lichtbogen steigt und den Widerstand W durchfliesst. Aus Fig. 372 geht die Anordnung hervor.

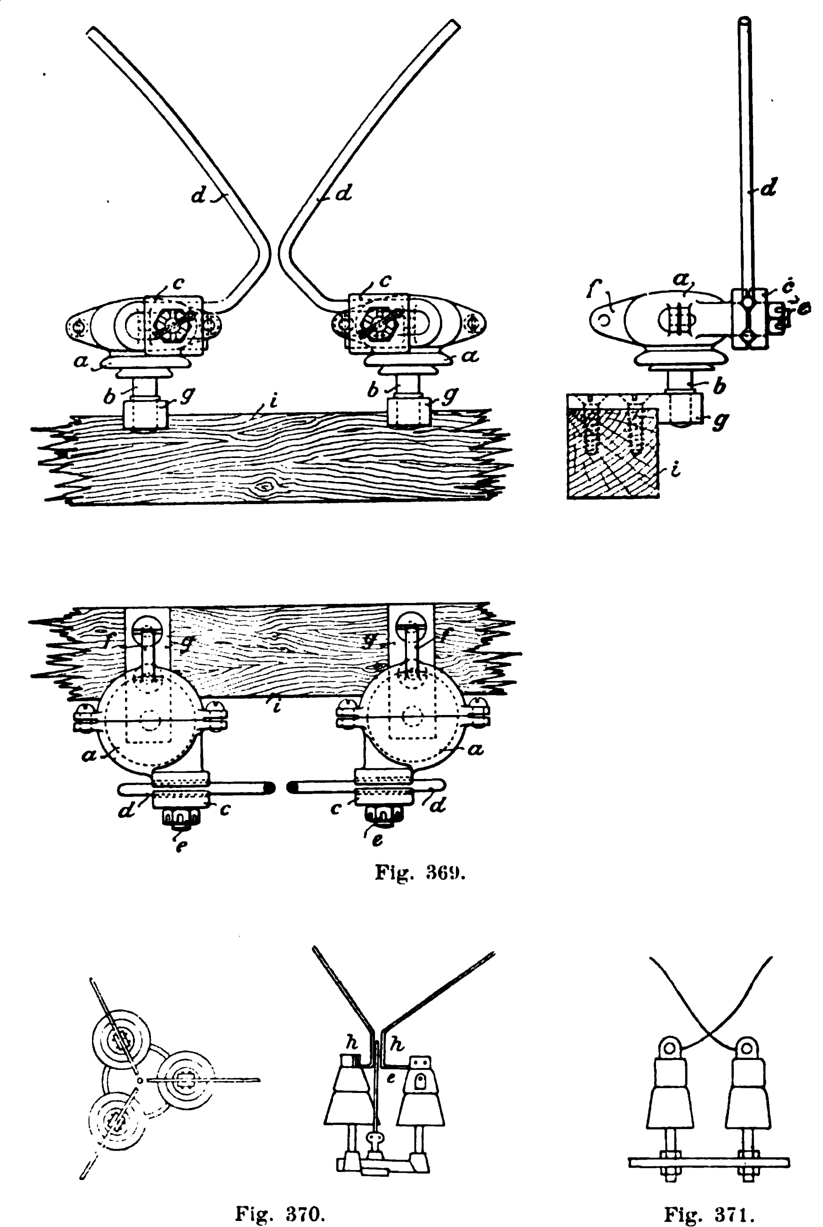


Fig. 369.

Fig. 370. Fig. 371.

KLEIN[1]) fand, dass man durch geeignete Armierung der Hörner mit Eisen einen energischen Auftrieb des Lichtbogens erreichen kann. Durch die Anordnung des Eisens wird eine Verzerrung des Feldes herbeigeführt, die Anzahl der Kraftlinien wird vergrössert. Sie suchen sich zu verkürzen

1) ETZ 1901, S. 1045.

und üben hierbei einen Zug auf den leichtbeweglichen Lichtbogen aus. Dies geschieht auch, wenn das angewendete Eisen geteilt wird, wie Fig. 374 zeigt.

Die THOMSON sche Form der Hörner wurde verwendet, da diese wegen ihrer grösseren Metallmasse auch noch abkühlend auf den Lichtbogen wirken konnte, sie wurden mit eisernen Schuhen, wie Fig. 375 zeigt, versehen.

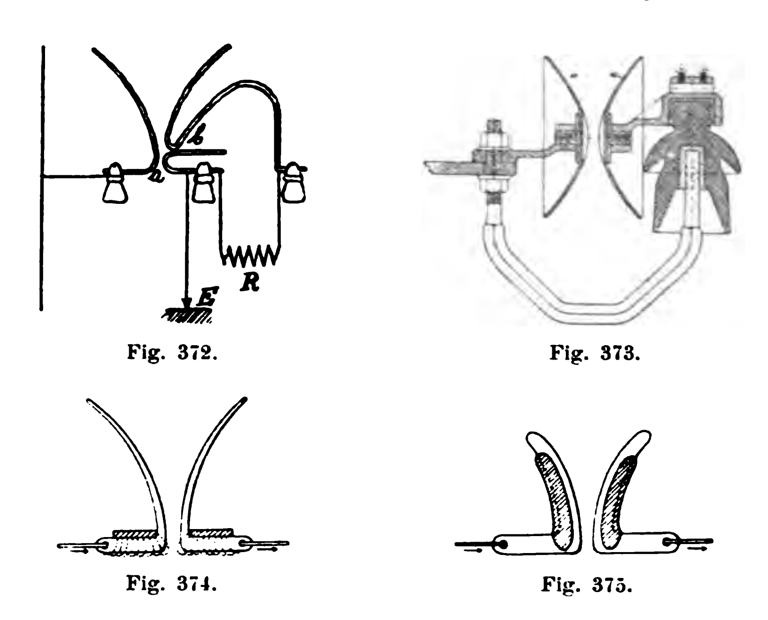


Fig. 372. Fig. 373.

Fig. 374. Fig. 375.

Diese Ausführung wurde von der Aktiengesellschaft, Elektrizitätswerke, vorm. O. L. KUMMER & Co. vertrieben.

Fig. 373 zeigt eine Form des Hörnerblitzableiters,[1]) bei der die Hörner durch konvexe Oberflächen ersetzt sind.

11. Blitzschutzvorrichtungen, bei denen ausser der elektrodynamischen Wirkung auch das Verhalten des Lichtbogens im magnetischen Felde zur Geltung kommt.

453. Apparate nach Benischke.

Hierher gehören die von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft nach den Angaben BENISCHKEs erbauten Blitzableiter, welche schematisch in

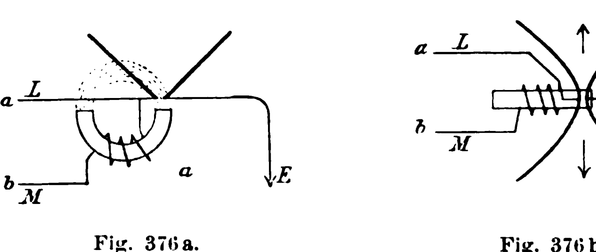


Fig. 376 a. Fig. 376 b.

Fig. 376 dargestellt sind. An Stelle der Hörner treten hier zwei Messingbügel, welche an ihrer horizontalen Stelle die Funkenstrecke bilden. Unter

[1]) D. R. P. No. 120872 (Union Elektr.-Ges.).

ihnen ist ein Elektromagnet angeordnet, dessen Kern aus unterteiltem Eisen besteht und dessen Wicklung direkt in die Freileitung eingeschaltet ist. Es besteht somit, solange die zugehörige Leitung Strom führt, ein Feld, dessen Kraftlinienverlauf aus den gestrichelten Linien (Fig. 376a) hervorgeht. Während einer Entladung tritt zu dem die Leitung normalerweise durchfliessenden Strom noch der Kurzschlussstrom, der die Wirkung des Magneten wesentlich verstärkt. Der eine der beiden Bügel ist an die Wicklung des Magneten, der andere an eine Erdleitung angeschlossen. Tritt infolge einer Entladung ein Lichtbogen auf, so wird derselbe senkrecht zur Richtung der Kraftlinien, also seitwärts in der Richtung der Pfeile (Fig. 376b) fortgetrieben, und zwar ist die Wirkung sowohl bei Gleich-, als auch bei Wechselstrom die gleiche, da die Richtung, in welcher der Lichtbogen wandert, von der Stromrichtung unabhängig ist. Auf diese Art wird der Lichtbogen schnell aus dem engsten Teil der Hörner herausgetrieben, der Lichtbogen verlängert

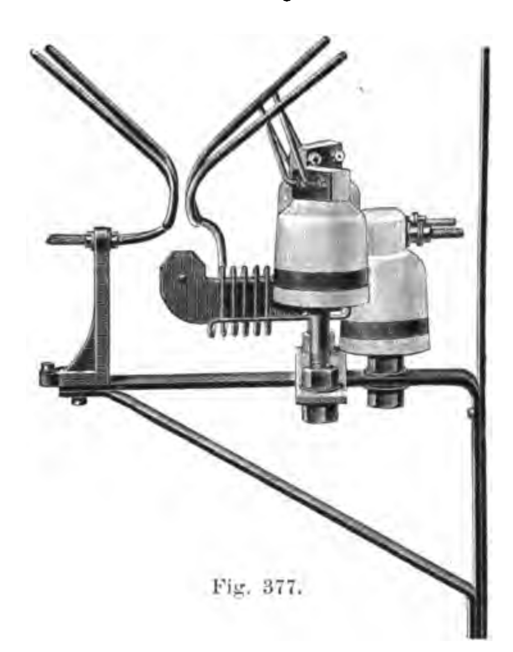


Fig. 377.

und somit die Kurzschlussstromstärke schnell vermindert. Ist der Lichtbogen aus der engsten Strecke heraus, so thun elektrodynamische und Wärmewirkung das Übrige, um den Lichtbogen zu zerreissen.

Fig. 377 zeigt die Konstruktion des beschriebenen Blitzableiters, und Fig. 378 giebt den Verlauf einer Entladung wieder; der hier abgebildete Lichtbogen ist durch direkten Kurzschluss eines Transformators von 60 Kilowatt bei einer Spannung von 3000 Volt hervorgerufen.

Um die Wirksamkeit des Blitzableiters, insbesondere dessen magnetisches Gebläse zu sichern, giebt die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft für den Anschluss desselben noch die folgende Anweisung:[1])

Es ist notwendig, die Magnetwicklung so anzuschliessen, dass die Klemme *b* (Fig. 376) an die von der Stromquelle kommende Leitung angeschlossen wird. Würde der Anschluss anders geschehen, so würde nach

1) Siehe Benischke, Schutzvorrichtungen.

Eintritt des Kurzschlusses der Strom nicht durch die Wicklung, sondern direkt zur Erde gehen. Wenn also die Vorrichtung einen Stromerzeuger schützen soll, so ist die von ihm kommende Leitung an die Klemme *b* und die Fernleitung an die Klemme *a* anzulegen. In diesem Falle bildet die Magnetspule auch gleichzeitig die Drosselspule, die der Entladung den Weg zu dem zu schützenden Apparat verlegt. Soll ein Erdkabel geschützt werden (Fig. 379), so muss auf der Seite, wo der Strom in das Kabel ein-



Fig. 378.

tritt, die Klemme *b* mit der den Strom zuführenden Leitung, die Klemme *a* mit dem Kabel verbunden werden. Es ist aber dann noch die Einschaltung einer besonderen Drosselspule *S* zwischen der Blitzschutzvorrichtung und dem Kabel erforderlich. Auf der anderen Seite, wo der Strom das Kabel verlässt, wird die Kabel und Blitzableiter verbindende Leitung bei *b*, die abgehende Leitung bei *a* angeschlossen. An dieser Seite ersetzt die Spule des Blasmagneten eine besondere Drosselspule.

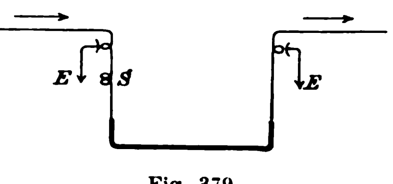


Fig. 379.

454. Hörnerblitzableiter in Verbindung mit Wasserwiderständen.

Es können Fälle eintreten, wo die Blitzschutzvorrichtungen überaus häufig funktionieren, und zwar wird dies in Gegenden sein, wo die Fernleitungen atmosphärischen Entladungen besonders ausgesetzt sind, wo sie über hohe Bodenerhebungen führen u. s. w. In vielen Fällen reicht dann aber die übliche Empfindlichkeit der Blitzschutzvorrichtungen nicht aus, ihre Funkenstrecken müssen enger eingestellt werden, oder es müssen einzelne Punkte des Netzes dauernd an Erde gelegt werden, wie dies bei den auf S. 387 beschriebenen Tankblitzableitern der Fall ist. Diese Erdung verbietet sich aber häufig aus zwei Gründen; einmal treten in benachbarten Telephonanlagen derartige Geräusche auf, dass eine Verständigung nicht mehr möglich wird, dann aber können zwischen Punkten der Erde und der Erdleitung hohe Potentialdifferenzen auftreten, welche das Leben von Personen bei etwaiger Berührung ernstlich gefährden können.

Es werden durch die Herbeiführung grösserer Empfindlichkeit der Blitzschutzvorrichtungen zwar auftretende Überspannungen schnell abgeleitet, indessen macht sich bei den wiederholten Entladungen der häufige Kurzschluss der Anlage überaus störend im Betriebe bemerkbar. Wie schon früher bemerkt, werden dann Widerstände von hohem ohmischen Wert in die Erdleitung eingeschaltet.

In etwas geänderter Form verwendet Benischke in solchen Fällen seine Hörnerblitzableiter mit magnetischem Gebläse in Verbindung mit induktions-

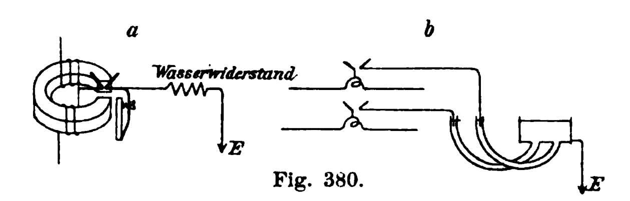


Fig. 380.

freien in die Erdleitung eingeschalteten Widerständen (Wasserwiderstände). Schematisch ist Konstruktion und Anordnung aus Fig. 380a ersichtlich. Die Funkenstrecke wird sehr eng eingestellt. Der Wasserwiderstand besteht aus einem eisernen Gefäss, an dessen Boden soviel Gummischläuche angeschlossen sind, wie die Anzahl der zu schützenden Leitungen beträgt, in welche er eingeschaltet werden soll. An der einen Wand des Gefässes sind Glasröhren angeordnet, an die die anderen Enden der Schläuche befestigt sind. An den oberen Enden der Röhren, an welchen auch die Leitungen angeschlossen werden, befindet sich je ein Metallstift, welcher etwa 5 cm in das im Gefäss und das in den Schläuchen befindliche Wasser eintaucht (Fig. 380b). Die Konstruktion ist in Fig. 381 näher erläutert. In anderer Form zum Aufstellen auf den Boden wird die in Fig. 382 wiedergegebene Anordnung verwendet.

Für den gleichen Zweck kann die bereits früher erwähnte Wasserstrahl-Erdung (Schuckert) Verwendung finden.[1])

455. Dimensionierung der Wasserwiderstände.

Der Ohmsche Widerstand und die Abmessungen des Gefässes müssen so bemessen sein, dass kein allzu grosser Lichtbogen entstehen und das Wasser in den Schläuchen nicht zu warm werden kann; der Kurzschlussstrom darf aber auch nicht zu klein werden, da sonst das Erlöschen des Lichtbogens in der Funkenstrecke nicht rasch genug erfolgt. Durch Änderung von Länge und lichter Weite der Schläuche wird das richtige Verhältnis

[1]) Vgl. Hdb. VI, 1, S. 389.

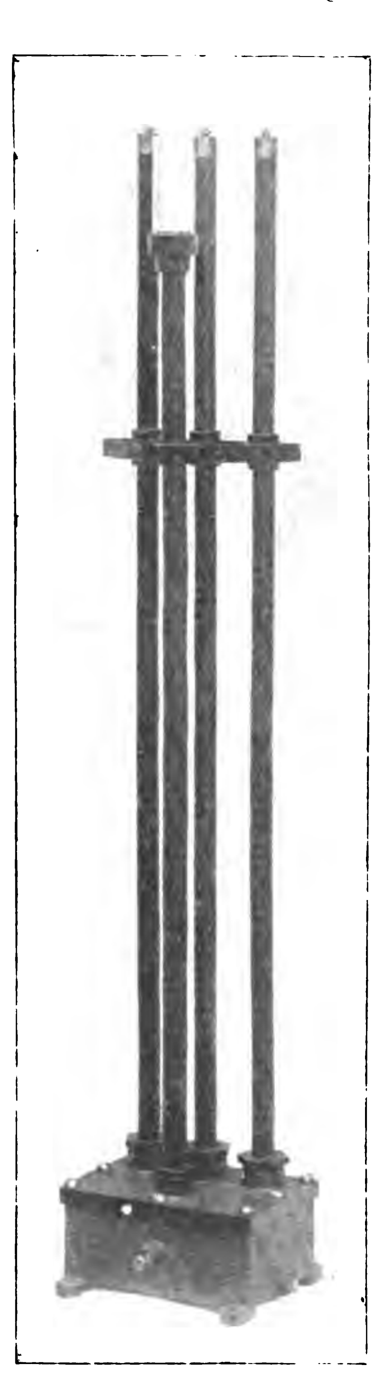
hergestellt. Für die Länge der Funkenstrecke in diesem Falle giebt BENISCHKE eine Kurve (Fig. 383), welche sich auf trockene, nicht staubige Luft bezieht. Die Spannungen sind doppelt eingetragen, einmal die gemessenen effektiven Werte und zweitens die Scheitelwerte, die maximalen Spannungen, welche sich bei der Sinuskurve durch Multiplikation der ersteren Werte mit 1·4 ergeben. Soll eine Anlage gegen eine Spannung von 10 000 Volt schützen, so muss man nach der Tabelle die Funkenstrecke auf 4·4 mm einstellen.

456. Hörnerblitzableiter für niedrige Spannungen.

Für Gleichstromanlagen, aber auch für Wechselstromanlagen mit niedrigen Spannungen sind Hörnerblitzableiter nicht so geeignet wie für hohe Spannungen, da bei diesen der Lichtbogen im engeren Teil der Funkenstrecke stehen bleiben und hierdurch die Hörner stark angreifen kann. Bei den zuletzt beschriebenen Blitzschutzvorrichtungen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft sind daher auch für Gleichstromanlagen bis 600 Volt Magnetgebläse von stärkerer Wirkung eingebaut. —



Fig. 381.



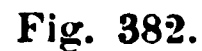


Fig. 382.

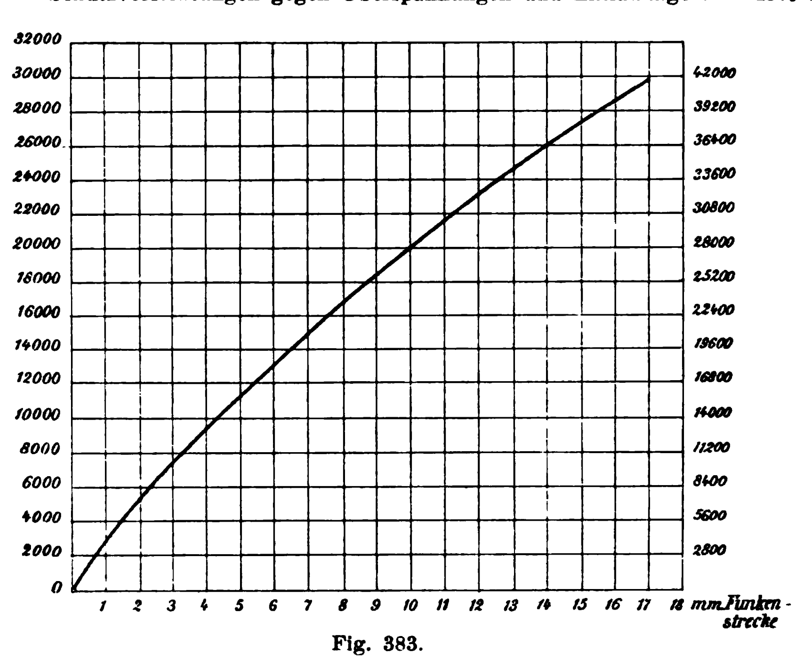


Fig. 383.

Die Erdleitung.

457. Beschaffenheit der Erdleitung. Bei der Beschreibung aller vorstehend erwähnten Blitzschutzvorrichtungen ist stets darauf hingewiesen, dass ein Punkt derselben gut an Erde gelegt werden muss. Von der dauernd guten Beschaffenheit dieser Erdverbindung hängt das sichere Funktionieren der Blitzableiter nicht zum geringsten Teil ab. Die Erdleitung muss einen möglichst geringen OHMschen Widerstand, wenig Selbstinduktion und Kapazität enthalten.

Sie wird daher aus gut leitendem Material hergestellt, und zwar wird zumeist Kupfer, Eisen, auch Aluminium verwendet. Eisen ist aber nicht besonders empfehlenswert, da in ihm während der Entladung Selbstinduktion auftritt, es sollen daher die unmagnetischen Metalle vorgezogen werden.

458. Erdungsvorrichtungen. Den wesentlichsten Teil des Widerstandes in einer Erdleitung bildet der Übergangswiderstand von der Leitung zur Erde. Um diesen möglichst herabzudrücken, wird der Übergang durch Platten, Seile, Netze, Zylinder bewerkstelligt,[1]) welche aus Kupfer oder verzinktem Eisen bestehen. Auch durch Einschlagen von längeren Gasrohren kann, wenn auch selten, die gewünschte Erdverbindung erreicht werden. Die geringste Grösse einer Platte soll 1 qm sein, jedenfalls sind die von ULBRICHT angegebenen Drahtnetze[1]) ziemlich gleichwertig mit vollen Platten derselben äusseren Abmessungen zu erachten. Die Stärke von Kupferplatten soll 2 mm, die von Eisenplatten 5 mm nicht unterschreiten. Bei Netzen, deren Maschenweite nicht grösser als 100 cm sein darf, wird verzinnter Kupferdraht von 4 mm Durchmesser verwendet. Die von ULBRICHT angegebenen Netze haben eine Maschenweite von 75 cm. Platten sollen vertikal, nicht horizontal in das Erdreich gebettet werden.

1) Siehe hierzu ETZ 1887, S. 115 u. ETZ 1883, S. 18 ff. DINGLER, Polyt. Journal. Band 265, S. 145 ff.

Für den Übergangswiderstand sind aber nicht nur Material und Grösse der Elektroden, sondern in erster Linie die Beschaffenheit des umgebenden Erdreiches massgebend. In feuchtem Erdreich wird man schon durch das Einsenken eines Gasrohres auf einen Meter Tiefe genügende Erdverbindung haben, in trockenem Erdreich wird man diese aber nur schwer ohne weitere Hilfsmittel erreichen können. Hier müssen dann die Elektroden in gestossenen Koks gebettet werden, um nicht zu hohe Widerstände zu erreichen. Für diese Bettung sind etwa 1 bis 2 m^3 Koks erforderlich.

459. Abhängigkeit der Erdung von der Beschaffenheit des Erdreichs.

In den Koks wird ein Drahtseil eingelegt, oder es werden mehrere Eisenstangen eingetrieben, an welchen die Erdleitung angeschlossen wird. Ist das Grundwasser in geringer Tiefe erreichbar, so ist es sicher am günstigsten, die Elektrode in dieses zu senken. Vor zu tiefer Verlegung sei gewarnt, wie auch BENISCHKE[1]) entschieden davon abrät:

„Es wird vielfach im Interesse eines guten Übergangswiderstandes die Anweisung gegeben, die Erdplatten womöglich bis ins Grundwasser zu verlegen. Es muss aber vor zu tiefer Verlegung derselben gewarnt werden, denn es handelt sich ja bei diesen Entladungen um einen Ausgleich statischer Elektrizität, die zwar in Form von oszillatorischen Strömen erfolgt, die sich aber doch nur an der Oberfläche der Erde und niemals im Innern ausbreiten kann."

Das Einlegen der Erdplatten in fliessende Gewässer, hauptsächlich Gebirgsbäche, führt meistens zu mangelhaften Erdverbindungen; reines Wasser bietet sehr erheblichen Widerstand.

Felsen, Sand, trockene Erde sind sehr ungeeignet für die Aufnahme der Erdplatten, und ist daher bei der Wahl eines für die Anbringung der Blitzschutzvorrichtung geeigneten Ortes sehr auf die Bodenbeschaffenheit zu achten. Wenn nicht andere Umstände die Anbringung an ungünstigeren Orten gebieten, ist fetter Boden jedem anderen vorzuziehen.

Für die Grösse des niedrigsten Übergangswiderstandes der Erdverbindung wird im allgemeinen angenommen, dass etwa 10 Ohm erreichbar sind, selbst dann, wenn man zur Koksbettung greifen muss. Bei der Verlegung in Grundwasser kann sich der Widerstand bis zu 5 Ohm erniedrigen. Indessen ist der Widerstand nicht gleichbleibend, wie VESPER[2]) in einem Vortrag (Mitteilung aus dem Telegraphen-Ingenieur-Bureau des Reichspostamtes) mitteilte, und zwar auf Grund ausführlicher Messungen an Elektroden verschiedenen Materials und verschiedener Bettungsart.

460. Grösse des Übergangswiderstandes.

In der umstehenden Tabelle No. 97, die der vorstehend genannten Arbeit entnommen, sind einige Resultate wiedergegeben, und zwar sind die angeführten Mittelwerte aus einer grösseren Anzahl von allmonatlich an denselben Erdleitungen wiederholten Messungen ermittelt; gleichzeitig sind die beobachteten maximalen und minimalen Werte einzutragen.

Es zeigt sich somit, dass der Widerstand der üblichen Erdverbindungen teilweise recht hoch ist; er kann jedoch durch Anbringung mehrerer Erdleitungen und Platten, die dann miteinander verbunden werden, herabgedrückt werden. Es wurde im Telegraphen-Ingenieur-Bureau des Reichspostamtes festgestellt, dass der Widerstand derartiger kombinierter Erdverbindungen fast genau so gross ist, wie er nach der Berechnung über den kombinierten

461. Parallel geschaltete Erdverbindungen.

1) BENISCHKE, Schutzvorrichtungen 1902, Braunschweig, S. 5.

2) ETZ 1897, S. 757.

Tabelle No. 97.

Der Elektroden

	Form und Material	Abmessungen in mm: Länge	Breite bezw. äusserer Durchmesser	Dicke	Oberfläche qm	Gewicht einschl. Zuleitung kg	Einbettungsart	Widerstände in Ohm: Maximal	Minimal	Mittel
1	Eisenrohr roh	3135	102	3·75	1	40·85	Grundwasser	10·7	6	7·9
2	Eisenrohr verzinkt. .	3130	102	3·75	1	39·55	„	10·6	4·9	6·9
3	Eisenrohr verzinnt. .	3130	102	3·75	1	37·12	„	11·5	5·8	7·9
4	Kupferrohr roh	3130	102	2	1	22·3	„	10	5·2	7·2
5	Kupferrohr verzinnt .	3130	102	2	1	22·6	„	9	5·2	6·9
6	Bleirohr	2900	110	2	1	21·233 ohne Zuleitung	„	9·7	6	7·8
7	Kupferplatte	1003	1003	2	1	19·38	„	18·3	11·8	15
8	Kupferdrahtnetz . . .	1000	1000	4	1	6·24	„	22·5	10·8	17
9	Kupferdrahtnetz durchflochten mit zwölf Bandeisenstreifen von 1100 mm Länge, 65 „ Breite, 2 „ Dicke	1000	1000	4	1	15·04 mit Armatur, 5·25 ohne Armatur	„	22	10·3	16·1
10	Eisenrohr roh	1562	102	3·75	$^1/_2$	20·1	Oberhalb des Grundwassers in trockener Erde	225	53	111
11	Eisenrohr roh	1562	102	3·75	$^1/_2$	20·1	Wie 9, jedoch in $2^1/_2$ cbm Koks	18·7	6·8	13·3
12	Kupferdrahtnetz . . .	1000	1000	4	1	6·22	Oberhalb des Grundwassers in trockener Erde	81	22	51
13	Kupferdrahtnetz . . .	1000	1000	4	1	6·09	Wie vorher, jedoch in $1^1/_2$ cbm Koks	38	13·8	26·3
14	Wasserstandrohr . . .	5100	105	—	$1^3/_4$	—	Oberkante 75 cm über der Erdoberfläche	20	12	16·6

Der Kokserde

	Material	Abmessungen in mm: Länge	Breite	Höhe	Inhalt cbm	Oberfläche qm	Form der Metallelektrode	Widerstandswerte in Ohm: Maximal	Minimal	Mittel
15a	Koksasche.	2	2	0·25	1	10	Kupferdrahtnetz 1 qm	30	18	23·6
15b	„	2	2	0·25	1	10	4 Eisenstangen	33·3	26·3	29·3
15c	„	2	2	0·25	1	10	Netz u. 4 Stangen	29	17·5	22·7
16	„	1·5	1·5	1	2·25	8·5	Kupferdrahtnetz 1 qm	30	8·2	16·6
17	„	1	1	1	1	6	Wie vorher	33·5	18·5	25·9
18	Grobe Koksstücke . .	1	1	1	1	6	Wie vorher	27	12·9	20
19	Koksasche.	1	1	1	1	6	2 Kupferdrahtnetze von $^1/_4$ u. $^1/_{16}$ qm Fläche	29·5 35·9	19 22	23·3 28·2
20a	„	1	1	1	1	6	6 Eisenrohrstangen	25	15·6	19·6
20b	„	1	1	1	1	6	3 Stangen	25·7	19	20·5
20c	„	1	1	1	1	6	1 Stange	28·8	22	24·2
21	4 je 4 mm starke Drähte, Eisenseil 10 m lang in trockener Erde							279	33·6	138
22	4 je 4 mm „ „ „ 10 m „ „ Koks									
23	4 je 4 mm „ „ „ 10 m „ „ „							41	18	28·5
24	4 je 4 mm „ „ „ 10 m „ „ „									
25	4 je 4 mm „ „ „ 2 m „ „ 10 m langer Koksbettung							47	20·7	31·7

Widerstand von Leitern sein müsste, vorausgesetzt, dass genügend grosse Erdplatten verwendet werden.[1])

Die zu diesem Zweck erforderlichen Messungen wurden an den in den vorigen Tabellen näher bezeichneten Erdverbindungen vorgenommen und giebt die nachstehende Tabelle[2]) die Resultate wieder.

Tabelle No. 98.

Datum der Messung	Laufende Nummer aus den vorigen Tabellen der parallel geschalteten Erdleitungen	Kombinierter Widerstand, Ohm		Einzelwerte in Ohm	Bemerkungen
		gemessen	berechnet		
12. III. 95	22. 23. 24. 25.	8·5	6·3	22 = 18. 23 = 16·7. 24 = 19. 25 = 20·7.	
5. XI. 95	21. 22. 23. 24.	2	2·1	21 = 24. 22 = 5. 23 = 11. 24 = 7.	
5. XI. 95	22. 23. 24.	2	2·3	Wie vorher	
5. XI. 95	23. 24.	4·4	4·3	Wie vorher	
12. II. 96	1. 3.	4·5	4·8	1 = 8. 3 = 11·5.	
12. II. 96	5. 4.	3·6	3·8	5 = 8·1. 4 = 7·3.	
12. II. 96	2. 11. 3.	5·7	3·3	2 = 7·2. 11 = 12. 3 = 11·5.	
19. III. 96	22. 23. 24.	3·3	2·8	22 = 7·7. 23 = 9·4. 24 = 8·2.	Mit No. 21 gemessen
19. III. 96	22. 23. 24.	3·3	2·8	22 = 7·7. 23 = 9·4. 24 = 8·2.	Mit No. 16 gemessen
11. VIII. 96	21. 23.	6·6	6·8	21 = 47. 23 = 8.	
11. VIII. 96	22. 23.	3·2	3·2	22 = 5·3. 23 = 8.	
10. III. 97	1. 2.	5·9	4·6	1 = 8·8. 2 = 9·5.	
10. III. 97	2. 4.	5·4	4·8	2 = 9·5. 4 = 9·7.	
14. VIII. 97	2. 11. 3.	3·3	2·6	2 = 8·1. 11 = 7·2. 3 = 7·9.	

462. Anschluss der Erdleitungen am Rohrnetze.

Lassen sich die Erdleitungen an Wasserleitungen anschliessen, die leicht zu erreichen sind, so wird hierdurch nahezu die beste Erdverbindung geschaffen, jedoch muss hier meistens mit dem Widerstreben der Gas- und Wasserfachmänner gerechnet werden. Überhaupt sei man bestrebt, die Erdungsleitungen soviel wie irgend möglich mit Rohrnetzen zu verbinden; sie allein als ausschliessliche Erdung zu verwenden ist aber nicht zulässig. Es muss daher ausser dem Anschluss an diese Netze noch eine von ihnen unabhängige Erdverbindung durch Platten oder dergl. geschaffen werden.[3])

Der Anschluss der Leitungen an die Erdplatten muss überaus sorgfältig hergestellt werden, damit an dieser im Erdreich besonders gefährdeten Stelle

1) Auf das Parallelschalten der Erdplatten weist WEILER im Jahre 1888 schon hin. El. Echo 1888, S. 72.

2) ETZ 1897, S. 761.

3) Vgl. auch Persönliche Sicherheit, Hdb. VI, 2.

nicht noch Übergangswiderstände auftreten. Es findet daher ausser einer guten Verschraubung auch noch eine Lötung der Verbindungsstelle statt.

463. Widerstand der Erdleitung.

Es wurde vorher erwähnt, dass der ohmsche Widerstand der Erdleitung keinen grossen Wert haben soll, um der Entladung einen möglichst bequemen Weg zur Erde zu bieten. Indessen ist es nicht erforderlich, nun allzu weitgehende Anforderungen zu stellen, da ja in der Funkenstrecke selbst während der Entladung ein Widerstand von mehreren Ohm auftreten wird und kleiner als dieser braucht auch der in der Erdleitung liegende nicht zu sein.

Es wird aber in sehr vielen Fällen sehr wünschenswert sein, den Widerstand in der Erdleitung zu vergrössern, um den der Entladung folgenden Kurzschlussstrom möglichst abzuschwächen. Aus diesem Grunde sind, wie Fig. 360 schon zeigt, Kohlenwiderstände eingeschaltet, welche aus isoliert angeordneten Bogenlampenkohlen bestehen. Um den Kurzschlussstrom zu vermindern ist es aber auch erforderlich, für die an die verschiedenen Leitungen angeschlossenen Blitzschutzvorrichtungen getrennte Erdplatten zu verwenden, da dann beim gleichzeitigen Funktionieren der Apparate, wie es meist beobachtet wird, noch die Erdstrecke zwischen den beiden Platten mildernd wirkt.

Auf die Stärke des Kurzschlussstromes ist von wesentlichem Einfluss die Lage des Blitzableiters zur Stromerzeugungsanlage. Liegt der Apparat in unmittelbarer Nähe der Generatoren, so wird naturgemäss ein bedeutend höherer Strom auftreten können als dann, wenn die Schutzvorrichtung hinter einer kilometerlangen Fernleitung vor einer Verbrauchsstelle eingeschaltet ist. Im ersteren Fall wird die Einschaltung besonderer Widerstände wahrscheinlich erforderlich sein, während im letzteren Falle die Dämpfung des Kurzschlussstromes über die lange Leitung genügt; auch wäre hier zu untersuchen am Platze, ob statt getrennter Erdplatten eine gemeinschaftliche Verwendung finden dürfte.

464. Selbstinduktion in der Erdleitung.

Bei der Ausführung der Erdleitungen ist, wie bereits gesagt, darauf zu achten, dass sie nicht zuviel Selbstinduktion besitzen und daher mit möglichst wenig Krümmungen zur Erde geführt werden. Indessen kommt nicht die Selbstinduktion in Frage, sondern der von ihr und der Periodenzahl n abhängige induktive Widerstand $2\,\pi\, n\, L$.

Blitzschläge sind nun längst als oszillatorisch bekannt, wahrscheinlich ist aber ihre Periodenzahl klein, ihre Schwingungsdauer aber gross, so dass nur eine ganz geringe Anzahl von Schwingungen während einer Entladung auftritt.

Bei der Entladung von Freileitungen über die Blitzschutzvorrichtungen ist dagegen die Schwingungsdauer gering und die Periodenzahl infolgedessen hoch. Hieraus folgt, dass die oszillatorische Entladung einen hohen induktiven Widerstand hervorruft, der den Weg über Generatoren, Motoren etc. nicht zulässt und sie zum Überspringen der Funkenstrecke der Blitzschutzvorrichtung zwingt. Von dieser Erfahrung ausgehend werden vor die zu schützenden Apparate noch besondere Drosselspulen geschaltet, die auf die einfachste Art aus der zu dem Apparat führenden Leitung hergestellt werden, indem man dieselbe zu einer freihängenden Spule von 10 bis 20 Windungen bei einem Durchmesser von etwa 10 cm aufwickelt (Fig. 389). Die Siemens-Schuckert-Werke verwenden ausser diesen Spulen Spiralen, die auf Isolatoren montiert sind.

465. Drosselspulen als Schutzmittel.

Bei starken Leitungen lassen sich diese Anordnungen aber schwer herstellen und hilft man sich dann dadurch, dass man die betreffende Leitung

auf eine Länge von etwa 30 cm mit Eisendraht oder Bandeisen umwickelt, dessen Enden offen bleiben.[1])

Diese Eisenumhüllung stellt für die oszillatorische Entladung einen sehr hohen induktiven Widerstand dar, während sie für Gleichstrom gar keinen und für Wechselstrom nur einen geringen Widerstand bedeutet (Fig. 384).

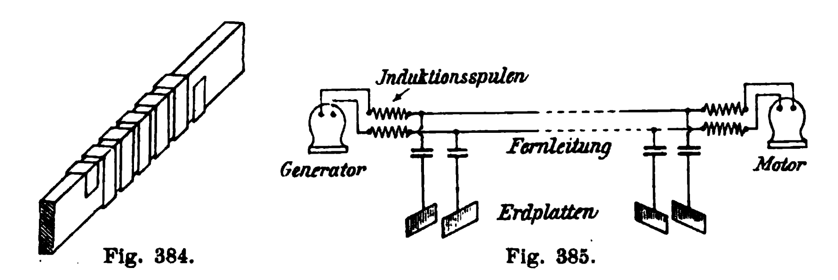


Fig. 384. Fig. 385.

Nach allem vorstehend Gesagten ist die Anordnung der Blitzschutzvorrichtungen in einer Anlage aus Fig. 385 ersichtlich.

Die Messung des Erdleitungswiderstandes.

In der Regel werden für diese Messungen Wechselströme oder intermittierende Gleichströme verwendet. Soll kontinuierlicher Gleichstrom Anwendung finden, so empfiehlt es sich, starke Batterien zu nehmen, die Messungen mit verschiedenen Stromrichtungen auszuführen und dann das Mittel aus diesen Resultaten zu bilden.

466. Methode von Kohlrausch.

Gewöhnlich werden die Messungen nach der Methode von Kohlrausch ausgeführt, da diese bei Flüssigkeitswiderständen, zu denen Erdwiderstände ebenfalls gerechnet werden müssen, unabhängig von der Polarisation ist. Hierbei wird eine Wheatstonesche Brücke benutzt, bei welcher das Galvanometer durch ein Telephon und die Batterie durch die sekundäre Wicklung eines Induktionsapparates ersetzt wird. In den primären Kreis des letzteren wird intermittierender Gleichstrom gesandt, so dass in dem sekundären Wechselströme entstehen.

467. Methode von Siemens & Halske.

Nach der Methode von Siemens & Halske[2]) wird die Induktionsspule weggelassen und der intermittierende Gleichstrom direkt in die Brücke gesandt. Derselbe wird nicht, wie bei der vorerwähnten Methode, durch einen Neefschen Hammer, sondern durch ein gegen eine Schleiffeder angedrücktes Kontaktrad hervorgebracht.

Ausserdem werden die beiden bei der Messung nötigen Bewegungen, nämlich die Drehung des Kontaktrades und die Bewegung des Brückenarmes längs des Messdrahtes, infolge mechanischer Kupplung der beweglichen Teile gleichzeitig durch Drehung einer kleinen Kurbel ausgeführt.

Der Messbereich der Brücke erstreckt sich von 1 bis 500 Ohm. Für kleinere Widerstände als 1 Ohm wird eine dem Apparat beigegebene Spule von 10 Ohm vorgeschaltet, deren Wert nach beendeter Messung abgezogen wird.

1) Benischke, Schutzvorrichtungen, S. 9.
2) ETZ 1893, S. 479.

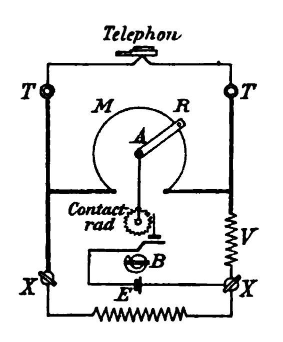


Fig. 386.

Die Schaltung des Apparates ist aus Fig. 386 ersichtlich. Um eine Messung auszuführen, werden die Leitungen an die neben der Teilung befindlichen Klemmen gelegt, und zwar an die mit T bezeichneten die Leitungsschnüre eines Telephons, an die mit X bezeichneten der zu messende Widerstand. Hierauf schaltet man durch Drehung des Messingknopfes B (Batterieschlüssel) die Batterie ein und dreht an der seitlich angeordneten Kurbel, wobei man gleichzeitig das Telephon ans Ohr hält. (Um die Batterie nicht zu sehr zu schwächen, soll dieselbe nur solange geschlossen bleiben, wie die Messung dauert.) Während der Drehung hört man im Telephon einen Ton, der bei der richtigen Einstellung des Brückenarmes A ganz oder fast ganz verschwindet. Um die richtige Einstellung genauer zu finden, stellt man den Brückenarm auf eine Stelle ein, die nahe der vermutlichen Gleichgewichtslage liegt und bewegt die Kurbel rasch hin und her, so dass sich der Brückenarm um die anfängliche Stelle nur wenig hin und her bewegt. Dies wiederholt man bei mehreren Stellen, bis man diejenige findet, bei welcher der Ton ganz oder am meisten verschwindet; der an dieser Stelle auf der Skala entsprechende Wert ist der gesuchte Widerstand.

Um bei zweifelhaft erscheinenden Messungen den Apparat zu kontrollieren, schaltet man die bereits oben erwähnte Vergleichswiderstandsrolle von 10 Ohm bei X ein und stellt fest, ob der Ton an der richtigen mit 10 Ohm bezeichneten Stelle der Skala verschwindet.

468. Hilfserde nach Nippolt.

Bei der Messung des Erdleitungswiderstandes wird eine Hilfserde benutzt, als welche eine Wasserleitung Verwendung finden kann. In diesem Falle kann der Widerstand der Hilfserde vernachlässigt werden.[1]) Kann eine Wasserleitung nicht benutzt werden, so wird, nach Angaben von NIPPOLT, eine Erdplatte als Hilfserde in einer Entfernung von 10 m von der zu messenden in einen Brunnen oder fliessendes Wasser horizontal versenkt. Die Platte hat einen Flächeninhalt von 1 qm, der sich durch Zusammenlegen auf ein Quadrat von 0·5 m Seitenlänge verkleinern lässt.

Es werden nun zwei Messungen gemacht, einmal, wenn die Hilfsplatte in ihrer ganzen Fläche, das zweite Mal, wenn sie zusammengelegt angeschlossen ist.

Bezeichnet nun W den Widerstand der Erdplatte von 1 qm Fläche, W_2 ihren Widerstand im zusammengelegten Zustand, x den der zu messenden Platte, so ergiebt die erste Messung den kombinierten Widerstand

$$W = x + \frac{W_1}{2},$$

die zweite Messung ergiebt

$$R = x + W_2.$$

Hieraus ergiebt sich dann

$$x = 2W - R.$$

469. Methode von Schwendler & Ayrton.

Mit Hilfe von zwei Hilfsplatten[2]) (Methode von SCHWENDLER und AYRTON), welche in einer Entfernung von je 7 bis 10 m von der zu untersuchenden

1) WEINHOLD, ETZ 1886, S. 35.
2) GRAWINKEL und STRECKER 1898, S. 114.

Platte in die Erde gebettet werden, ergeben sich aus drei Messungen die Resultate:

$$P_1 = \tfrac{1}{2}\ (R_{1.2} - R_{1.3} + R_{2.3})$$
$$P_2 = \tfrac{1}{2}\ (R_{1.2} + R_{1.3} - R_{2.3})$$
$$P_3 = \tfrac{1}{2}\ (R_{1.2} + R_{1.3} + R_{2.3}).$$

470. Methode von Wichert.

Eine andere Methode zur Messung von Erdleitungen giebt WIECHERT,[1]) bei welcher zwei Erden vorhanden sein müssen. Ist dies nicht der Fall, so muss eine zweite als Hilfserde von geringerem Widerstande hergestellt werden, und zwar erfolgt dies, nach Angabe von WEINHOLD,[2]) mit Hilfe eines 25 mm breiten Stahlbandes von 8 m Länge, welches wegen seiner handlichen Form leicht überall hin mitgenommen und auch in enge Brunnenschächte versenkt werden kann. Ausserdem wird ein Hilfserdkontakt hergestellt, indem man in feuchtes oder mit einigen Litern Wasser angefeuchtetes Erdreich einen ca. 40 cm langen bleistiftdicken Eisenstab steckt, an welchem ein Leiter befestigt wird. Es wird dann die in Fig. 387 skizzierte Schaltung hergestellt. Zwischen A und B ist die sekundäre Spule S eines Induktionsapparates eingeschaltet, AB ist der Messdraht, x und y die beiden Erdleitungen und E die Hilfserde. Bei der Messung wird zunächst bei D gestöpselt, der Brückenkontakt auf die Stelle C_1 gebracht, wo das Geräusch im Telephon verschwindet, dann wird bei E gestöpselt und C_2 festgestellt.

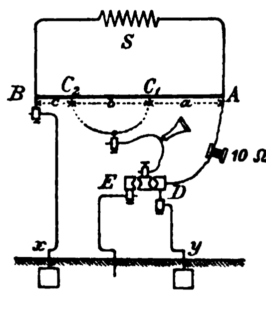


Fig. 387.

Dann ist: $a : b : c = 10 : y : x$ und $x = \frac{10c}{a}$; $y = \frac{10b}{a}$.

Von diesen Werten ist der Widerstand der Zuleitungen abzuziehen.

Für den Fall, dass der Messdraht nicht in Millimetern, sondern nach dem Brückenverhältnis eingestellt ist, verfährt man wie folgt:[3])

Man bestimmt zunächst das Verhältnis der beiden Ausbreitungswiderstände $\frac{x}{y} = c$, indem man aus dem Messdraht und den beiden Erden, unter Ausschluss der Spule von 10 Ohm, das WHEATSTONEsche Viereck bildet. Das Telephon wird bei E angelegt und der Wert c am Messdraht direkt eingestellt. Hierauf wird die direkte Verbindung zwischen A und D aufgehoben, die Spule von 10 Ohm wieder eingeschaltet und nunmehr eine zweite Ablesung gemacht, deren Wert mit dem Widerstand der Spule multipliziert, $x + y = d$ ergiebt.

Die Widerstände der Zuleitungsdrähte z_1 und z_2 werden noch in die Rechnung mit eingeführt und es ergiebt sich dann

$$\frac{x - z_1}{y - z_2} = c \quad x - y - z_1 - z_2 = d,$$

dann ist:

$$x = \frac{c\,(d - z_1) - z}{1 + c}; \quad y = \frac{d - z_2\,(1 + c)}{1 + c}.$$

1) ETZ 1893, S. 726.
2) ETZ 1886, S. 36.
3) UPPENBORN, Kal. f. Elektr., S. 346.

Die Anbringung der Blitzableiter.

471. Raumbedarf. In erster Linie ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Blitzschutzvorrichtungen, wenn sie in Thätigkeit treten, Flammenbogen bilden, die oft



Fig. 388.

eine Länge von $^1/_2$ bis $1^1/_2$ m erreichen. Ihre Anbringung muss daher so erfolgen, dass der Lichtbogen brennbare Gebäudeteile oder Leitungen nicht erreichen kann. Infolgedessen ist der Raumbedarf der Apparate ein verhältnismässig grosser und es werden z. B. Hörnerblitzableiter gern im Freien an Gebäudemauern oder auf Masten montiert.

In vielen Fällen ist die Unterbringung in Gebäuden allerdings empfehlenswerter, da dann die Funkenstrecken wesentlich empfindlicher eingestellt und auch gegen eine Verschmutzung besser geschützt werden können. Hier muss

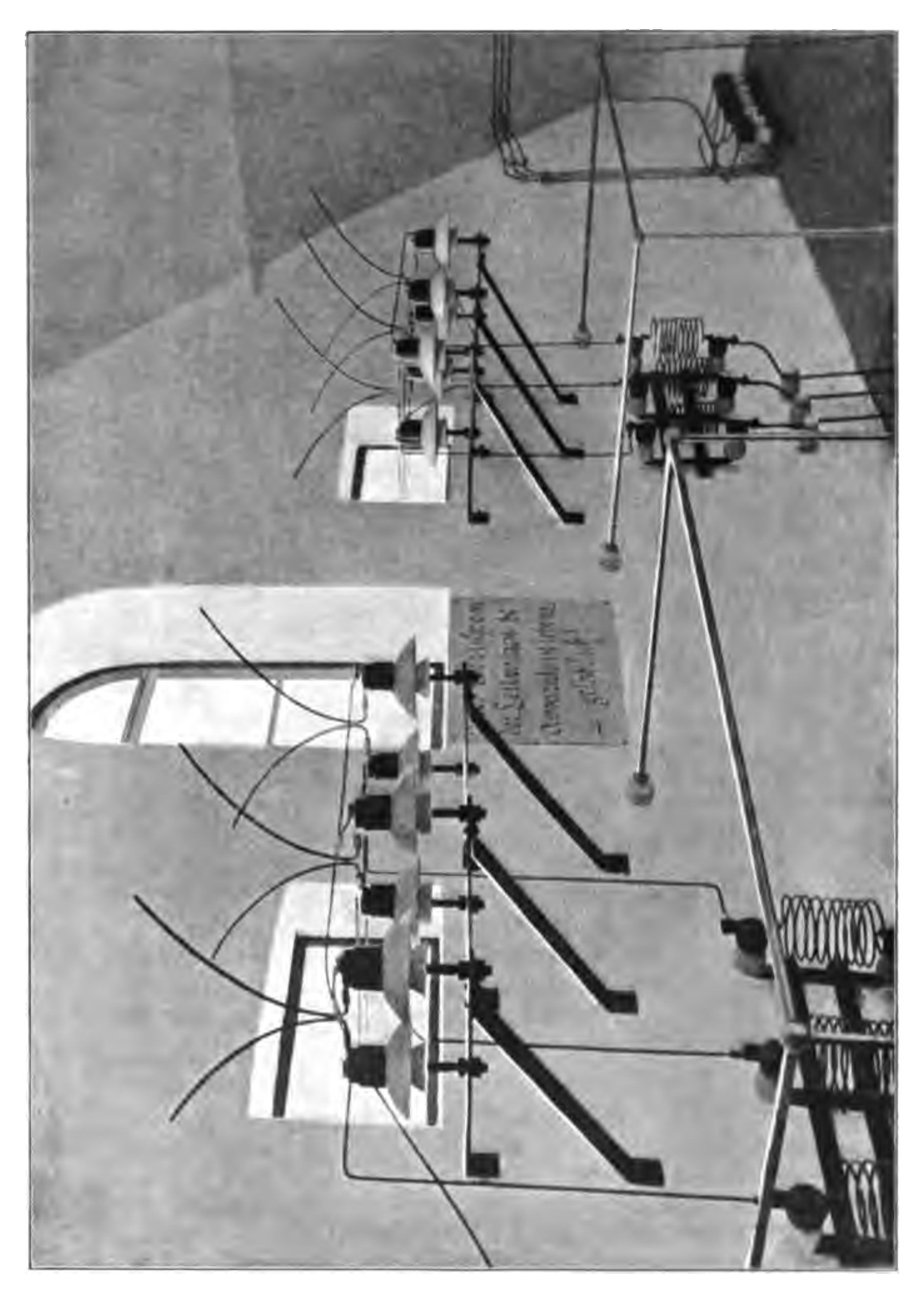


Fig. 389.

ihre Anbringung aber stets so erfolgen, dass der Lichtbogen brennbare Gebäudeteile nicht erreichen kann.

Auch die Entfernungen zwischen den Blitzableitern untereinander dürfen nicht zu gering sein und muss für Hörnerblitzableiter etwa $^1/_2$ bis $^3/_4$ m betragen.

Können die Abstände nicht gross genug gewählt werden, so hilft man sich auch wohl mit Schutzwänden, welche zwischen den einzelnen Apparaten angeordnet werden. Eine derartige Anordnung zeigt Fig. 388, welche die in die Fernleitungen in Pont Saint Martin eingeschalteten Hörnerblitzableiter darstellt.

Fig. 389 zeigt die in die Fernleitung der von der Maschinenfabrik Örlikon gebauten Hochspannungsanlage in Zwölfmalgreien eingeschalteten Apparate an der Austrittsstelle der Leitungen aus der

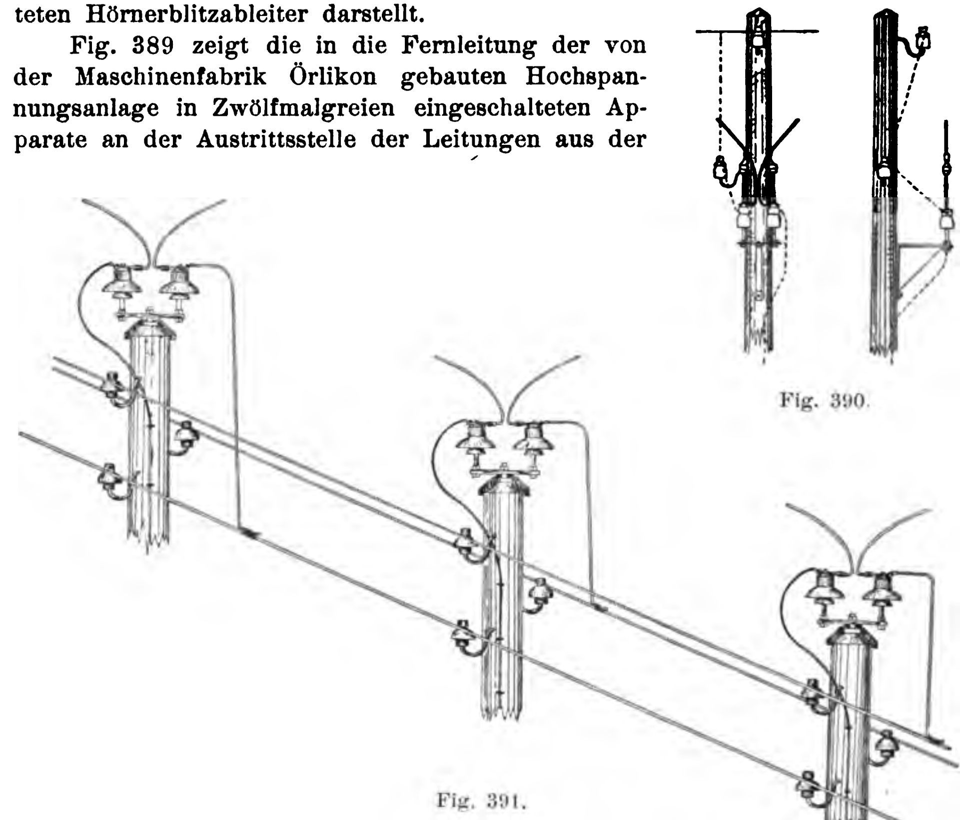


Fig. 390.

Fig. 391.

Zentrale. In dieser Abbildung sind die eingeschalteten Drosselspulen und ihre Anordnung deutlich erkennbar.

Die Anordnung der Blitzschutzvorrichtungen an den Masten von Freileitungen zeigen Fig. 390 u. 391, und zwar die erstere, wenn die Befestigung auf Konsolen seitlich des Mastes, die zweite, wenn die Apparate auf dem Zopfe des Mastes befestigt werden.

Die Spannungssicherungen.

472. Allgemeines.

Steigt in einem gut und sachgemäss angelegten Stromkreise die Stromstärke über den normalen Betrag, so treten die stets vorhandenen Schmelzsicherungen in Funktion oder automatische Ausschalter trennen den gefährdeten Stromkreis vom Netz. Für die in einem Stromkreis eventuell auftretende zu hohe Spannung ist selten eine Sicherung vorgesehen und es findet daher in der Regel, wenn sie auftritt, an irgend einer Stelle eine Durchbrechung der Isolation statt, die zu starken Beschädigungen der Apparate und Leitungen führen kann. Sicherungen gegen hohe Spannungen werden zum grössten Teil nur als Schutz gegen atmosphärische Entladungen eingebaut. Über die

Empfindlichkeit derartiger Schutzvorrichtungen ist an anderer Stelle geschrieben,[1]) und es ist aus jenen Angaben ersichtlich, dass ein ausreichender Schutz in gewissen Fällen erreicht wird. Bei jenen Entladungen handelt es sich aber meistens um Spannungen, welche die Betriebsspannung ganz gewaltig übersteigen und welche imstande sind, genügend grosse Funkenstrecken zu überbrücken, um dann zur Erde abgeleitet zu werden.

473. Auftreten von Überspannungen.

Aber abgesehen von diesen giebt es auch noch atmosphärische Entladungen, deren Spannung nicht so ausserordentlich hoch ist und jedenfalls unter der Grenze jener liegt, welche imstande wäre, einen Lichtbogen in der Blitzschutzvorrichtung einzuleiten.

Es treten auch durch das rasche Entstehen oder Verschwinden magnetischer Felder, durch Resonanz Überspannungen auf und durch den direkten Übertritt von Hochspannung in Niederspannungskreise. Auch durch das Einschalten von Synchron- oder Wechselstrommotoren, wenn sie nicht erregt sind, können Spannungserhöhungen auftreten, da diese Maschinen dann einen Transformator bilden, dessen sekundäre Wicklung die Erregerwicklung bildet. Niederspannungs-Stromkreise, welche von Wechselstromtransformatoren gespeist werden, sind stets der Gefahr ausgesetzt, dass Hochspannung in sie übertritt, und zwar ist dies nicht nur infolge Durchschlagens von der Hochspannungs- nach der Niederspannungswicklung im Transformator selbst möglich, sondern auch durch Erdschlüsse, welche sowohl im Hochspannungs- als auch im Niederspannungsnetz auftreten. Dass auch beim Einschalten von Transformatoren Spannungserhöhungen auftreten können, hat BENISCHKE [2]) nachgewiesen.

Schliesslich seien noch die Fälle erwähnt, wo Stromkreise, welche Selbstinduktion und Kapazität besitzen, ausgeschaltet werden. Die hierbei auftretenden Spannungen weisen bemerkenswerte Unterschiede auf, je nachdem der betreffende Stromkreis zu anderen parallel liegt oder nicht. Ist das erstere der Fall, so bleibt beim Ausschalten des einen noch ein anderer geschlossener Stromkreis bestehen, in welchem die Schwingungen verlaufen können, während bei völliger Unterbrechung der zunehmende Luftwiderstand die Höhe der auftretenden Spannung beeinträchtigt. Durch benachbarte Wicklung können die beim Öffnen oder Schliessen auftretenden Schwingungen auf noch höhere Spannungen transformiert werden. BENISCHKE beschreibt in einem Vortrage einen derartigen Fall wie folgt:

„Im Probierraume der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft sind vor einigen Jahren zwei Fälle beobachtet worden, die sich nur auf solche Weise erklären lassen. Es waren Gleichstrommotore, welche mit 550 Volt betrieben wurden. An diesen bemerkte man plötzlich einen Funken von 5 bis 8 mm Länge überspringen. Ausgangs- und Endpunkt konnten nicht genau festgestellt werden. Nachher zeigte sich, dass die Isolation des Ankers durchgeschlagen war. Beim ersten Falle hätte man den Funken für eine optische Täuschung halten können, es ereignete sich aber derselbe Fall nochmals und wiederum war der Anker durchgeschlagen. Das Entstehen des Funkens lässt sich nun auf folgende Weise erklären: Die Isolation des Ankers hatte eine schwache Stelle und wurde vom Betriebsstrom durchgeschlagen. Der dabei entstehende Lichtbogen wurde von dem starken magnetischen Felde sofort

1) Vgl. S. 387 u. f. dieses Bandes.
2) ETZ 1902, S. 552.

ausgeblasen und dabei entstand eine elektrische Schwingung von hoher Periodenzahl. Diese wurde in der Wicklung des Ankers oder der Magnete transformiert und äusserte sich in der Form eines langen Funkens.“

Derartige Überspannungen können nun entweder Betriebsstörungen herbeiführen oder die an einem Teil der Anlage arbeitenden oder auch nur mit ihm in Berührung kommenden Personen gefährden oder auch beides zugleich.

Man könnte nun, um einen Unfall bei Berührung des Niederspannungsnetzes zu vermeiden, dasselbe an irgend einer Stelle mit der Erde dauernd

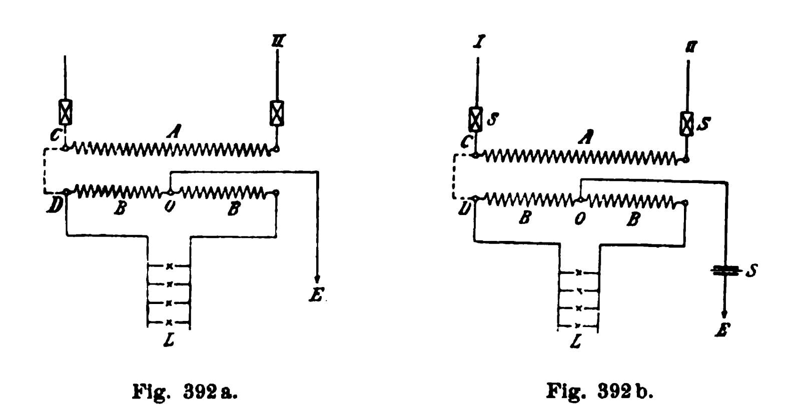


Fig. 392 a. Fig. 392 b.

verbinden, wie aus Fig. 392 a zu ersehen. Es würden aber durch diese Verbindung in den nahegelegenen Telephonnetzen leicht Störungen eintreten, welche man dadurch vermeiden kann, dass man in die Erdleitung einen Apparat mit Funkenstrecke einschaltet, wie aus Fig. 392 b zu ersehen ist. Da diese dazu bestimmt sind, das Netz gegen zu hohe Spannung zu schützen, werden sie Spannungssicherungen genannt.

Ursprünglich wurden hierzu normale Blitzschutzapparate verwendet, die auf grosse Empfindlichkeit eingestellt waren. Es besteht aber nun zwischen den Apparaten, welche gegen jene früher erwähnten atmosphärischen Entladungen schützen sollen und den hier zu betrachtenden Spannungssicherungen ein grosser Unterschied. Jene müssen oft ganz beträchtliche Energiemengen plötzlich zur Erde ableiten, der Widerstand ihrer Erdleitung darf daher eine gewisse Höhe nicht überschreiten, wie auf S. 416 dieses Bandes des näheren auseinandergesetzt.

Zum Ausgleich der hier in Betracht kommenden Überspannungen genügen aber schon geringe Energiemengen, so dass es möglich ist, den empfindlich eingestellten Apparaten einen hohen Widerstand vorzuschalten. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft verwendet hierzu Wasserwiderstände, wie sie z. B. in Fig. 381 u. 382 gezeigt sind, und zwar sind diese für Drehstrom bestimmt und daher drei Röhren vorhanden. Die Art ihrer Einschaltung ist aus Fig. 380 a ersichtlich. Der Ohmsche Widerstand der Wassersäule soll so gross sein, dass bei normaler Betriebsspannung nicht mehr als 500 Watt in einer Röhre vernichtet werden.

474. Spannungssicherung der A. E.-G. Die Spannungssicherung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft besteht aus zwei Messinghörnern (Fig. 393), deren Funkenstrecke zwischen den Polen eines magnetischen Gebläses liegt. Dieses letztere ist deshalb angeordnet, weil infolge des hohen vorgeschalteten Widerstandes die Stromstärke

im Lichtbogen sehr gering ist und derselbe daher schwer erlischt.[1]) Andererseits wird hierdurch aber ein Verbrennen der Elektroden vermieden, wodurch die einmal eingestellte Funkenstrecke erhalten bleibt.

Allgemeiner als die vorstehend erwähnte Spannungssicherung werden diejenigen verwendet, welche bestimmt sind, Überspannungen in Niederspannungsnetzen unschädlich zu machen. Sie müssen, da sie die persönliche Sicherheit verbürgen sollen, schon bei Spannungen von etwa 500 Volt in Thätigkeit treten.[2]) Sie bestehen im wesentlichen aus einer Durchschlagspatrone, welche zwischen Leitung und Erde eingeschaltet wird. Von zwei Metallplatten steht die eine mit dem Eisenkonsol bezw. der Erde, die andere mit dem isolierten Kontaktstück bezw. dem Leitungsnetz in Verbindung; beide sind voneinander durch eine dazwischengelegte Scheibe aus Isoliermaterial getrennt.



Fig. 393.

Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft verwendet eine derartige Spannungssicherung, welche aus einem normalen Sicherungselement besteht, in welches ein massiver Stöpsel eingeschraubt wird. Zwischen ihm und der Kontaktschiene liegt ein Glimmerplättchen von 0·2 mm Dicke, welches in der Mitte durchlocht ist und somit einen Luftraum von 0·2 mm zwischen der Erdleitung und der Kontaktschiene bildet. Dieser Zwischenraum wird von einer Spannung von 600 Volt übersprungen.

Damit durch Unebenheiten und ungleichmässiges Aufsitzen des Stöpsels nicht eine unbeabsichtigte Verlängerung der Funkenstrecke herbeigeführt und damit der enge Luftraum möglichst geschützt wird, liegt auf dem Glimmerplättchen eine Messingscheibe, auf welche erst der Stöpsel drückt.

475. Spannungssicherung von Siemens & Halske.

Die Siemens-Schuckert-Werke verwenden die in Fig. 394 wiedergegebene Spannungssicherung, mit welcher sie ihre Transformatoren regelmässig ausrüstet. Sie besteht aus einer Anschlussdose und einem Stöpsel, deren stromführende Teile durch ein dünnes Glimmerplättchen voneinander getrennt sind.

Der Teil *a* der Dose ist aus isolierendem Material hergestellt und trägt die äussere Kontakthülse *r* mit der Anschlussklemme *c*, sowie das innere, mit einer Bohrung versehene Kontaktstück *d* mit der Anschlussklemme *f*. An dem Kontaktstöpsel, mit dem ebenfalls aus isolierendem Material hergestellten Handgriffe *m*, ist ein mit Boden versehener Messingzylinder *h* und ein federnd aufgeschnittenes Kontaktstück *g* befestigt. In den Boden des Messingzylinders *h* ist ein leicht auswechselbarer Metallring *i* eingelassen, welcher nebst dem Kontaktstück *g* durch die Schraube *l* gegeneinander gezogen, aber durch ein zwischengelegtes Glimmerplättchen *k*, das mit Löchern versehen ist, in einer bestimmten Entfernung voneinander gehalten. Da an den

1) Vgl. S. 407 dieses Bandes.

2) Sie werden durch § 25b der Sicherheitsvorschriften für Hochspannung des V. D. E. verlangt.

durchlochten Stellen des Glimmerplättchens die beiden Metallteile *i* und *g* nur durch eine dünne Luftschicht voneinander getrennt sind, findet schon bei einer verhältnismässig geringen Spannungserhöhung ein Überschlagen statt.

Die Klemme *c* der Sicherung wird nun mit der Erde gut leitend verbunden und die Klemme *f* an das Niederspannungsnetz angeschlossen.

Das Einsetzen dieser Sicherung kann vollständig gefahrlos geschehen, da die Hülse *h* und der Kontaktstöpsel *g* so bemessen sind, dass beim Einsetzen der Zylinder *h* zuerst mit der Hülse *r* und somit mit der geerdeten Klemme *c* in leitende Verbindung kommt und sich dann erst die beiden Kontaktstücke *g* und *d* berühren. Sobald der Stöpsel eingesteckt ist, sind nur die geerdeten Metallteile für die Berührung zugänglich.

476. Spannungssicherungen von Schuckert.

In ähnlicher Art ist die Spannungssicherung der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals SCHUCKERT & Co. gebaut, die noch einige bemerkenswerte Anordnungen aufweist.

Um eine Auswechslung der Durchschlagspatronen gefahrlos vornehmen zu können, ist im Eisenkonsol eine Erdungsschraube vorgesehen, wodurch eine

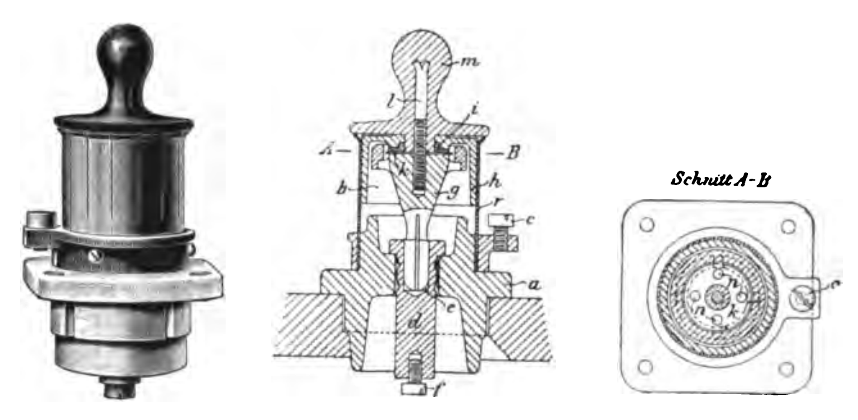


Fig. 394.

sichere Erdverbindung hergestellt und die Patrone gefahrlos herausgenommen werden kann; es kann jedoch die Erdung auch selbstthätig, durch Abschrauben der Patronen, erfolgen, was auch der ersteren Anordnung vorzuziehen ist.

Die neuesten Apparate sind noch durch eine Prüfanordnung erweitert, indem sich eine Glühlampe durch Einschrauben in die Fassung selbstthätig in den Stromkreis schaltet und dabei durch Aufleuchten das Durchschlagen der Patrone kenntlich macht. Dieser Fall wird natürlich nur dann von selbst eintreten, wenn in einem Aussenleiter Erdschluss vorhanden ist. Wenn dagegen das Niederspannungsnetz intakt ist, d. h. wenn die Glühlampe nicht leuchtet, so muss für die Untersuchung momentan ein Aussenleiter geerdet werden und leuchtet die Lampe auch dann noch nicht, so ist die Spannungssicherung in Ordnung.

Bei Drehstromtransformatoren wird man den Anschluss gewöhnlich an den Nullpunkt der sternförmig geschalteten Niederspannungswicklung leiten, bei Wechselstromtransformatoren aber so, dass die Niederspannungswicklung in zwei gleiche Teile zerlegt wird (Fig. 392b). Eine direkte Verbindung mit der Erde besteht somit in normalem Zustande nicht. Steigt aber die Spannung im

Niederspannungsnetze durch oben angeführte Ursachen, so wird das Glimmerplättchen an den Löchern durchgeschlagen und durch den sich bildenden Lichtbogen die Verbindung mit der Erdleitung hergestellt. Genügen geringe Ströme zum Ausgleich, so wird der Lichtbogen erlöschen, die Spannungssicherung ist sofort wieder betriebsfertig. Wird dagegen der Kurzschluss nicht bald aufgehoben, so werden die beiden Platten zusammenschmelzen und eine dauernde Erdverbindung herstellen.

Sobald nun eine Spannungssicherung funktioniert hat, wird man in erster Linie die Ursache dafür festzustellen haben und dann den Fehler beseitigen. Erst danach zieht man den Kontaktstöpsel heraus, erneuert das Glimmerplättchen und, wenn erforderlich, auch die Kontaktstücke, wodurch die Spannungssicherung wieder betriebsfertig ist.

477. Vermeidung von Überspannungen durch Einschaltung von Widerständen bei Reihenschaltung.

Am zweckmässigsten ist allerdings, einen vollständigen Reservekontaktstöpsel vorrätig zu halten.

Es sei noch eine Anordnung erwähnt, die eine Beschränkung des Spannungsunterschiedes [1]) an Apparaten, welche in Reihenschaltung arbeiten, herbeiführen soll.

In einem Kraftverteilungsstromkreis mit konstanter Stromstärke ist meistens eine Anzahl von in Reihen geschalteter Stromerzeuger vorhanden und es kann die von denselben erzeugte Spannung weit übertroffen werden, von der Spannung, die einzelne Stromerzeuger erreichen.

Infolge irgend eines Fehlers der Isolierung, der Apparate zwischen den Wicklungen der Kraftmaschinen etc. und ihren Gehäusen, Stützen und anderen Metallteilen kann nun ein Spannungsunterschied entstehen, welcher viel grösser ist als die normale Betriebsspannung, für welche die Isolierung ausgeführt wurde.

Es würde zwar genügen, irgend einen Punkt des Stromkreises mit den Massen zu verbinden, um das Entstehen eines Spannungsunterschiedes, der höher ist als der durch diesen Apparat erzeugte bezw. absorbierte, zu verhindern, da bei Verteilungsanlagen nach dem Reihensystem alle Maschinen und Apparate als sorgfältig vom Boden isoliert angenommen werden können. Es wird aber dadurch ein schwacher Punkt für die Isolierung geschaffen, welcher sogar für Menschen gefahrvoll werden kann, wenn die Spannung eine gewisse Höhe beträgt. Die Verbindung der Metallteile mit dem Stromkreise muss also ganz gefahrlos hergestellt werden.

Bei einer Anlage mit fünf Stromerzeugern, von denen jeder eine Spannung von 4500 Volt erzeugen kann, beträgt die erzeugte Gesamthöchstspannung 22 500 Volt. Diese Spannung verteilt sich nur dann regelmässig längs des Stromkreises, wenn die Isolierung der Gehäuse etc. vollkommen ist. Ist dies nun nicht der Fall, so dass auch nur die kleinste Verbindung zwischen den Gehäusen und der Erde vorhanden ist, so entladen sich nach und nach diese Gehäuse, anstatt auf ein mittleres Potential geladen zu bleiben.

Da zur Verhinderung von Kurzschlüssen zwischen den Endpolen der Stromerzeugerreihe zwei Isolierungen vorhanden sind, nämlich des ersten und letzten Stromerzeugers der Reihe, so beträgt bei fehlerhafter Isolierung der Gehäuse für jeden dieser Stromerzeuger der maximale Spannungsunterschied zwischen Wicklung und Gehäuse die halbe Gesamtspannung, d. h. 11 250 Volt, eine Spannung, welche die Betriebsspannung dieser Generatoren

1) D. R. P. 143 998.

bei weitem übertrifft und welche sich noch für eine der Maschinen verdoppeln kann, wenn die Isolierung einer anderen fehlerhaft ist. Dadurch können nicht allein Betriebsstörungen vorkommen, sondern auch Gefahren für Menschenleben entstehen.

Durch die im nachfolgenden detaillierte Anordnung soll nun die Entstehung der beschriebenen Missstände bei unvollkommener Isolierung der Gehäuse dadurch vermieden werden, dass die Ladung der Gehäuse sozusagen durch eine die Verluste durch die Isolierung der Gehäuse ersetzende Speisung konstant erhalten wird. Durch diese Anordnung sind zwischen die Pole des zu schützenden Apparates zwei gleich grosse Widerstände, deren neutraler Verbindungspunkt mit dem Gehäuse des zu schützenden Apparates verbunden ist, in Reihe geschaltet.

In Fig. 395 ist schematisch ein Ausführungsbeispiel der Anordnung dargestellt, sowie die Art der Schaltung mit den zu schützenden Maschinen oder Instrumenten ersichtlich. *D* bezeichnet den elektrischen Stromkreis einer

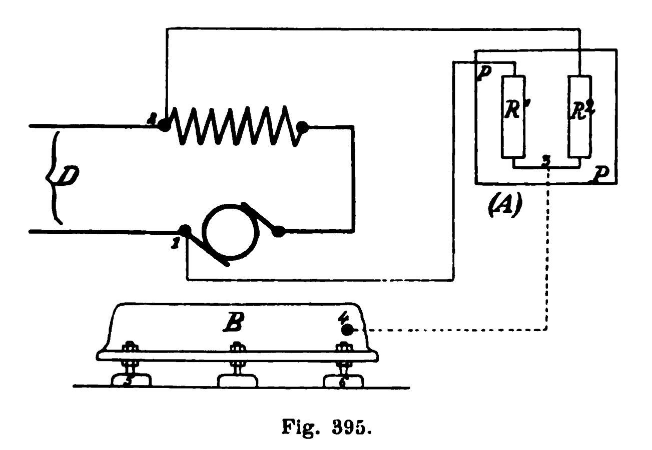


Fig. 395.

Dynamomaschine und *B* deren metallisches Gehäuse, welches durch Isolatoren 5 und 6 vom Boden isoliert ist. *A* bezeichnet den Ausgleichsapparat. Er besteht aus einer Schutzstütze *PP*, auf welche die beiden gleichen Widerstände R_1 — R_2 angeordnet sind. 3 ist eine Stromabnehmerstelle, die in 4 mit dem Gehäuse der zu schützenden Maschinen *D* verbunden ist. Die beiden anderen Kontaktpunkte 1 und 2 sollen mit den beiden Polen der Dynamo verbunden sein.

Dadurch ist nun der dem Ausgleichsstrom gebotene Widerstand nur einem Viertel des Gesamtwiderstandes von R_1 und R_2, und der zwischen dem Gehäuse *B* und der Wicklung gemessene statische Spannungsunterschied ist nur halb so gross als der Unterschied der zwischen 1 und 2 bestehenden Spannung.

Die Grösse der Widerstände kann annähernd ein Hundertstel von der Ohmgrösse der Isolierung gegen Erde, d. h. praktisch mehr als 1 Megohm betragen, so dass der hindurchgehende Strom z. B. bei einem Generator von 3000 Volt 3 Milliampère nicht überschreiten würde.

Für den beschriebenen Zweck können die gewöhnlichen Metallwiderstände und auch Flüssigkeitswiderstände angewendet werden.

Sachregister.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)

Namenregister.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)